Na análise dos cimentos o método polarográfico tem-se aplicado especialmente à determinação da alumina (2), apresentando certo interesse quando se pretende a determinação directa do óxido de alumínio, visto que na maioria dos processos essa determinação é feita por diferença.

Para se obter o polarograma desejado é necessário eliminar os catiões interferentes. Um processo que se pode utilizar para esse fim, é o de submeter a solução obtida por dissolução do precipitado dos hidróxidos de ferro e alumínio com ácido perclórico, à electrólise com cátodo de mercúrio, durante a qual se dá a deposição dos elementos não desejados, seguindo-se depois várias operações, ainda demoradas, de preparação da solução para análise.

Outro método de proceder consiste em precipitar os hidróxidos na solução proveniente da eliminação da sílica, por meio de amónia concentrada. O precipitado calcinado é em seguida fundido, dissolvido e, depois de se levar a solução a pH conveniente e adicionar electrólito suporte adequado, regista-se o polarograma. Qualquer destas modalidades apresenta maior interesse quando integrada na marcha corrente das determinações porque se pode aproveitar o precipitado — O_3R_2 — então obtido.

Todavia a utilização da polarografia na análise química dos cimentos apresenta também os inconvenientes já assinalados quer no que se refere a aparelhagem quer a pessoal.

4 — *Volumetria complexométrica*

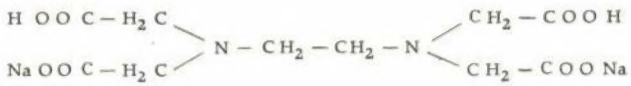
A volumetria é também um processo bastante rápido de análise, quando é possível limitar as separações e tratamentos prévios.

Dentre os processos volumétricos que maior expansão têm sofrido, avulta a complexometria pròpriamente dita. Refere-se esta designação aos métodos que utilizam as chamadas «complexonas», compostos que têm a propriedade de formar fàcilmente iões complexos com uma grande variedade de catiões.

Destes compostos podem adquirir-se fàcilmente no comércio as complexonas I, II e III que são respectivamente o ácido nitriloacético, o ácido etilenodiaminotetracético e o sal dissódico do ácido anterior.

Actuando sobre o pH do meio, em presença de indicadores apropriados e aproveitando a diferente estabilidade dos complexos formados em cada caso, é possível fazerem-se doseamentos rápidos e selectivos com um limitado número de operações preliminares.

A complexometria dos cimentos tem sido efectuada principalmente com a complexona III, também designada por EDTA, versenato, etc., de fórmula



geralmente representada por AH_2Na_2. Em presença dum catião de qualquer valência, o complexo formado contém sempre um só ião metálico, a cuja complexação corresponde a libertação de 2 hidrogeniões, facto que serve de base a processos acidimétricos de doseamento. Todavia preferem-se mais correntemente, os processos que utilizam indicadores específicos, por serem de mais fácil e menos delicada aplicação.

As principais vantagens apontadas aos métodos complexométricos são:

— Não requerem aparelhagem especial, sendo apenas necessário uma balança com a sensibilidade de 0,1 mg e o material corrente de qualquer pequeno laboratório.

— Não necessitam pessoal especializado, por se tratar de uma técnica clássica que todo o iniciado em química analítica deve conhecer.

— São rápidos em relação aos processos gravimétricos. Efectivamente a titulação faz-se em alguns minutos e a preparação da solução a titular não exige geralmente, numerosas e demoradas separações, donde uma notável economia de tempo.

— São bastante precisos quando tomados os cuidados devidos, em especial no que se refere à reacção lenta de formação dos complexos.

ANÁLISE RÁPIDA DOS CIMENTOS PORTLAND POR COMPLEXOMETRIA

I — INTRODUÇÃO

Com base no referido anteriormente e na literatura respectiva, procurou-se estabelecer uma marcha para análise de cimentos Portland que conduzisse a uma fácil e rápida determinação quantitativa dos componentes geralmente reque-

ridos, com vista à sua possível utilização no controle industrial de fabricação.

Numa análise corrente de cimento determinam-se, como se sabe, a sílica (SiO_2), a alumina (O_3Al_2) e os óxidos de ferro (O_3Fe_2), de cálcio (OCa) e de magnésio (OMg).

Habitualmente, excluindo a determinação do O_3Fe_2 e o final da determinação do cálcio, que são efectuados por volumetria, os outros doseamentos realizam-se por gravimetria. Este processo é laborioso e demorado, especialmente no que diz respeito à cal e magnésia, devido à necessidade de separação prévia dos elementos anteriores e de longa digestão de precipitados.

Utilizando a complexometria com EDTA podem determinar-se nos cimentos a cal, a magnésia, o oxido de ferro e a alumina. Contudo, como a determinação de O_3Fe_2 pelo processo do dicromato é igualmente rápida e fácil [3], não há vantagem na sua substituição. O método visou, portanto, os doseamentos da alumina, cal e magnésia.

II — PARTE EXPERIMENTAL

1. *Métodos adoptados*

1.1 — *Determinação da alumina, O_3Al_2* [4]

Em meio de PH = 4,5, os iões ferro e alumínio formam complexos com a complexona III. Adicionando-se à solução do cimento a analisar um excesso deste reagente, pode determinar-se esse excesso por meio de uma solução titulada de zinco, com o qual também há formação de um complexo.

Como indicador utiliza-se a ditizona em solução alcoólica que, de início, comunica à solução uma cor verde acastanhada. Os iões zinco formam com o indicador um complexo de cor vermelha, menos estável que o da complexona. O ditizonato de zinco só se formará portanto quando se esgotar a complexona em excesso, e a solução virará de verde acastanhado a um tom avermelhado, o que indicará o final da titulação.

a) — *Reagentes*

— Solução de complexona III (EDTA) 0,05M
Dissolver 18,6127 g em água destilada e perfazer 1 litro.

— Solução tampão pH = 4,5
Dissolver 78 g de acetato de amónio em 60 ml de ácido acético glacial diluído com 500 ml de água destilada. Levar a 1 litro.

— Solução de zinco 0,05 M
Atacam-se 3,2690 g de zinco puro com cerca de 10 ml de ácido clorídrico concentrado. Perfazer 1 litro.

— Solução de ditizona
Em 100 ml de álcool etílico absoluto dissolvem-se 25 mg de ditizona.

— Álcool etílico absoluto.

b) — *Técnica*

Separações prévias — Ataca-se 1 g do cimento com ácido clorídrico (1:1), evapora-se à secura e lava-se o precipitado. Completa-se o volume a 250 ml.

Doseamento — Retiram-se do volume perfeito 50 ml e adicionam-se, de uma bureta, 14 ml de complexona. Junta-se amónia concentrada até início de precipitação dos hidróxidos e depois 50 ml de solução tampão; ferve-se 5 minutos e arrefece-se ràpidamente. Adicionam-se 60 ml de álcool absoluto e 3 ml de ditizona e titula-se com solução 0,05 M de zinco até viragem de cor verde acastanhado a um tom avermelhado.

O volume de solução de zinco gasto permitirá calcular o volume da complexona despendido em complexar o ferro e o alumínio. Doseado aquele pode determinar-se, por diferença, a percentagem de alumina.

c) — *Expressão dos resultados*

— Volume de complexona correspondente ao O_3Fe_2, prèviamente determinado pelo método do dicromato e existente na toma de 50 ml.

Este volume V_1 em ml, é dado por

$$V_1 = \frac{M_1 \times 1000}{100 \times f \times 5} = 0{,}5\, M_1$$

sendo

M_1 — a percentagem de O_3Fe_2 no cimento

f — o número de mg de O_3Fe_2 por ml de complexona. No caso presente 4 mg de O_3Fe_2 <> 1 ml de EDTA, 0,05 M.

— Percentagem de alumina

Esta percentagem calcula-se, partindo da equivalência de 2,549 mg de O_3Al_2 para 1 ml de complexona 0,05 M, pela expressão:

$$M_{Al_2O_3} = 1{,}2745\ (14 - V - V_1)$$

onde

V_1 — volume de complexona em ml calculado pela expressão anterior;

V — volume de solução de zinco gasto na titulação.

d) — *Reprodutibilidade* — Para verificar a reprodutibilidade do método descrito determinou-se a percentagem de O_3Al_2 em 6 amostras do mesmo cimento. Das soluções retiraram-se as tomas necessárias para os doseamentos referidos e ainda 3 tomas para o doseamento do O_3Fe_2 por volumetria e outras 3 para o total de óxidos O_3R_2, por gravimetria.

A percentagem de óxido de ferro considerada, quer para o processo gravimétrico quer para o complexométrico, foi a média dos 3 valores encontrados.

Os resultados obtidos constam do quadro 1

QUADRO 1

Percentagem de O_3Al_2 num mesmo cimento

Complexometria		Gravimetria	
%	Diferenças	%	Diferenças
5,74	+ 0,04	5,69	— 0,01
5,67	— 0,03	5,81	+ 0,11
5,61	— 0,09	5,62	— 0,08
5,80	+ 0,10	—	—
5,58	— 0,12	—	—
5,80	+ 0,10	—	—

Médias:

Complexometria — 5,70 %. Gravimetria — 5,70 %.

As diferenças foram calculadas em relação à média dos valores encontrados pelo método gravimétrico.

Pela apreciação dos resultados obtidos constata-se o seguinte:

— A média dos resultados dos ensaios realizados tem o mesmo valor para qualquer dos métodos, 5,70 %.

— A maior diferença apresentada é 0,11 e 0,12 respectivamente para a gravimetria e para a complexometria.

— A diferença entre os teores extremos de alumina determinados complexomètricamente é de 0,22. Este valor excede apenas em 0,02 o valor permitido por algumas normas estrangeiras (5) para 2 ensaios gravimétricos e é inferior ao estabelecido para 3 ensaios.

— O desvio padrão da média complexométrica é de $\pm$ 0,095 o que em percentagem corresponde a $\pm$ 1,6 %.

1.2 — *Determinação do óxido de cálcio (OCa)* (6)

O indicador específico utilizado, murexida, forma com os iões cálcio um ião complexo de cor vermelha. Este é menos estável que o formado pela complexona com os mesmos iões, em meio de pH compreendido entre 10 e 13.

No decorrer da titulação a complexona vai-se apoderando do cálcio e no final, por destruição do complexo de murexida, libertará completamente o indicador. Como este em meio alcalino apresenta cor lilás azulada, dar-se-á, portanto, uma viragem da cor vermelha da solução para essa cor.

a) — *Reagentes*

— Solução de complexona III (EDTA) 0,05 M. Idêntica à preparada para o doseamento da alumina.

— Solução de murexida — Dissolver 0,2 g em 100 ml de água destilada.

— Solução de soda cáustica, aproximadamente normal — Dissolver 40 g em água destilada e perfazer 1 litro.

b) — *Técnica*

— Separações prévias — Ataca-se 1 g de cimento com ácido clorídrico (1 : 1), leva-se à secura e retoma-se com o mesmo ácido. Filtra-se e lava-se como habitualmente para a separação da sílica. Precipitam-se os hidróxidos de ferro e de alumínio com amónia concentrada, a quente, até cheiro persistente, sem adição de vermelho de metilo. Ferve-se, filtra-se e lava-se como é habitual. Leva-se o volume do filtrado e lavagens a 250 ml, em balão aferido.

Doseamento — A 25 ml pipetados desta solução juntam-se 40 ml da solução de soda cáustica indicada e 3 gotas de indicador. Titula-se com solução de complexona até viragem da cor vermelha ao tom lilás azulado.

Deve notar-se que, utilizando esta toma directa de 25 ml, ao juntar-se a solução de soda cáustica, se forma um precipitado. Embora este desapareça antes de ser atingido o final da titulação, é absolu-

tamente necessária uma titulação lenta, da qual fica dependente a precisão dos resultados obtidos.

c) — *Expressão dos resultados*

A percentagem de OCa é dada pela expressão

$$M_{OCa} = 10 \times \frac{f}{1000} \times 100 \times V' = 2{,}804\ V'$$

onde

V' — é o número de mililitros despendidos na titulação.

f' — o equivalente em OCa de 1 ml de solução de complexona 0,05 M, no caso presente igual a 2,804 mg.

d) — *Reprodutibilidade* — A aplicação deste processo à determinação de OCa em 6 amostras do mesmo cimento forneceu os resultados do quadro 2. Fez-se também sobre 3 das soluções obtidas a determinação do cálcio precipitando-o como oxalato e titulando com permanganato de potássio após dissolução.

QUADRO 2

Percentagem de OCa num mesmo cimento

Complexometria		Método do permanganato	
%	Diferenças	%	Diferenças
63,93	+ 0,02	63,86	— 0,05
64,07	+ 0,16	63,94	+ 0,03
63,93	+ 0,02	63,94	+ 0,03
63,93	+ 0,02	—	—
64,07	+ 0,16	—	—
63,86	— 0,05	—	—

Médias:

Complexometria—63,96 % Gravimetria—63,91 %.

As diferenças foram calculadas em relação à média dos valores encontrados pelo método gravimétrico.

Apreciando o quadro anterior pode verificar-se o seguinte:

— Os valores das médias apresentam boa concordância: 63,96 e 63,91 %.

— A diferença entre valores extremos para 6 resultados é apenas 0,21.

— A diferença para a média do método clássico não excede 0,16.

— O desvio padrão da média complexométrica é de ± 0,086 e em percentagem ± 0,13 %.

1.3 — *Determinação da magnésia, OMg* (6)

Em meio de pH = 11 a complexona forma iões complexos quer com os iões cálcio quer com os iões magnésio, sendo o dos primeiros mais estável que o dos segundos.

Por isso, ao juntar-se EDTA a uma solução em que coexistam os dois iões dar-se-á primeiro a complexação do cálcio e só depois deste esgotado se realizará a do magnésio.

Por outro lado, o indicador utilizado, negro de eriocromo T, que em solução de pH = 11 tem cor azul, em presença de iões magnésio toma a cor vermelho-vinho devido também a formação de um complexo, por sua vez menos estável que o de complexona-magnésio.

Por estes motivos ao titular-se a solução que contém os iões cálcio e magnésio a cor só virará de vermelho-vinho a azul nítido, quando todos estiverem complexados e o próprio complexo de eriocromo destruído.

Deste modo, pode calcular-se por diferença o teor em magnésia, uma vez conhecido o volume da solução titulada gasta com o ião cálcio.

No entanto, alguns autores determinam directamente o magnésio (7), eliminando prèviamente as catiões anteriores segundo a marcha normal da análise, sendo os resultados satisfatórios como se pode verificar no quadro 3 referente a experiências realizadas sobre 3 amostras de cimento.

QUADRO 3

Percentagem de OMg de 3 cimentos. Método directo

Cimento	Complexometria	Gravimetria	Diferença
1	1,95	1,98	— 0,03
2	2,38	2,20	+ 0,18
3	2,09	2,14	— 0,05

Todavia, em relação ao fim que se procura atingir, de maior rapidez de análise, os benefí-

cios introduzidos deste modo são pouco consideráveis. Economiza-se tempo apenas na precipitação do Mg^{2+}, que efectivamente exige uma digestão demorada, e calcinação do precipitado, mas esta economia é mais aparente que real. Com efeito, em presença dos oxalatiões, provenientes da precipitação do cálcio, e do vermelho de metilo, adicionado no decorrer da análise, a viragem do indicador — eriocromo T — é de difícil percepção. Então, é preciso proceder-se à destruição daquelas substâncias com peróxido de hidrogénio, tratamento que, para ser eficiente, é ainda demorado. Por isso se preferiu a determinação do OMg por diferença.

a) — *Reagentes*

— Solução de EDTA — 0,05 M — Idêntica à utilizada para a determinação da alumina.

— Solução tampão de pH = 11 — A 67,5 g de cloreto de amónio, dissolvidos em água destilada adicionam-se 570 ml de amónia concentrada. Levar a 1 litro.

— Solução de negro de eriocromo T. — Juntam-se a 0,5 g do indicador cerca de 5 ml de solução tampão e completa-se o volume, com água destilada, a 100 ml.

b) — *Técnica*

Doseamento — A 25 ml retirados da mesma solução que serviu para o doseamento do cálcio, juntam-se 10 ml de tampão amoniacal e vai-se adicionando complexona até um volume aproximado do despendido no doseamennto anterior. Juntam-se 3 gotas do indicador e termina-se a titulação *lentamente*, até viragem de vermelho-vinho a azul nítido.

Convém não adicionar o indicador logo de início porque, em presença de excesso de iões cálcio, o complexo com o magnésio é de mais difícil formação e a viragem final é menos nítida (8).

c) — *Expressão dos resultados*

A percentagem de magnésia M_{OMg} será dada por:

$$M_{OMg} = 10 \times \frac{f\,(V'' - V')}{1000} \times 100 = f\,(V'' - V')$$

onde

V' — nùmero de mililitros de complexona gastos na titulação do cálcio.

V'' — número de mililitros de complexona despendidos na titulação conjunta.

f — equivalente em mg de OMg de 1 ml de complexona, no caso presente 2,0160.

d) — *Reprodutibilidade*

Como anteriormente determinou-se em 6 amostras do mesmo cimento o teor em óxido de magnésio, que foi também determinado gravimètricamente.

Os valores encontrados resumem-se no quadro 4.

QUADRO 4

Percentagem de magnésia em 6 amostras do mesmo cimento

Complexometria		Gravimetria	
%	Diferenças	%	Diferenças
2,02	+ 0,13	1,90	+ 0,01
2,07	+ 0,18	1,90	+ 0,01
2,02	+ 0,13	1,88	— 0,02
2,12	+ 0,23	—	—
2,02	+ 0,13	—	—
2,02	+ 0,13	—	—

Médias:

complexometria — 2,045 %

gravimetria — 1,89 %

As diferenças foram também calculadas relativamente à média dos valores gravimétricos, 1,89 %.

Observando o quadro anterior verifica-se que:

— Os valores das médias 2,045 % e 1,98 % são ainda bastante aproximados.

— As percentagens obtidas por complexometria apresentam boa concordância entre si, visto que a diferença entre valores extremos é de 0,10.

— Todos os valores do método em estudo são um pouco mais altos que os da gravimetria, o que se poderá de certo modo explicar por insuficiente lentidão no final da titulação.

— O desvio padrão da média complexométrica é de ± 0,04, o que, em percentagem, dá ± 1,9 %.

1.4 — *Aplicação sobre cimentos diferentes*

Confirmada a boa reprodutibilidade dos métodos adoptados, aplicaram-se às determinações dos óxidos de alumínio, cálcio e magnésio em 6 cimentos diferentes. Simultâneamente procedeu-se ao doseamento dos mesmos óxidos pelos processos habituais. Os resultados obtidos apresentam-se no quadro 5.

QUADRO 5

Percentagem de alumina, cal e magnésia, de diferentes cimentos

Cimento	Percentagem de alumina			Percentagem de cal			Percentagem de magnésia		
	Complexometria	Gravimetria	Diferenças	Complexometria	Mét. do permanganato	Diferenças	Complexometria	Gravimetria	Diferenças
1	5,68	5,75	— 0,07	—	—	—	—	—	—[a]
2	5,58	5,57	+ 0,01	64,07	63,91	+ 0,16	2,02	1,89	+ 0,13
3	4,96	4,74	+ 0,22	64,21	64,10	+ 0,11	0,96	0,68	+ 0,28
4	4,69	4,95	— 0,26	—	—	—	—	—	—[a]
5	5,24	5,06	+ 0,18	64,63	64,75	— 0,12	2,10	1,94	+ 0,16
6	5,22	5,17	+ 0,05	63,72	63,70	+ 0,02	1,76	1,84	— 0,08

(*a*) Inutilizam-se os respectivos ensaios.

Da observação do quadro anterior sobressai o seguinte:

— Há uma boa concordância entre os valores complexométricos e gravimétricos determinados, pois os afastamentos máximos são de 0,26, 0,16 e 0,28 respectivamente para a alumina, cal e magnésia, o que é perfeitamente admissível nas análises correntes.

— Sendo a determinação do OMg feita por diferença é de salientar o facto dos valores encontrados por complexometria serem comparáveis aos de gravimetria, determinados directamente.

2 — *Doseamento a partir duma única toma de cimento*

A aplicação dos métodos anteriores, tal como foram descritos, obrigava a fazerem-se duas tomas para o mesmo cimento, doseando-se numa o OCa e o OMg e noutra o O_3F_2 e o O_3Al_2.

Com a finalidade de melhorar o tempo de análise procurou-se efectuar sobre uma única toma as determinações daqueles compostos, necessitando-se, assim, de realizar apenas uma eliminação da sílica, operação que é sempre um tanto morosa.

Experimentou-se, então, a seguinte técnica:

Atacou-se 1 g de cimento com ácido clorídrico (1:1) e procedeu-se como o descrito para a determinação da alumina até obtenção da solução de 250 ml.

Sobre duas tomas de 50 ml desta solução realizaram-se os doseamentos do O_3Fe_2 e do O_3Al_2 pelos processos citados anteriormente.

Fizeram-se mais 2 tomas de 25 ml, em cada uma das quais se precipitaram, lavaram e separaram os hidróxidos de ferro e alumínio.

Num dos filtrados obtidos determinou-se o OCa e no outro o OMg pelos processos anteriormente indicados, modificando apenas no último a quantidade de solução tampão empregada que passou a ser de 20 ml.

A titulação realizou-se, portanto, sobre cerca de 100 ml em vez dos 25 ml utilizados no método atrás descrito.

Os resultados obtidos, na análise de 4 cimentos diferentes, indicam-se no quadro 6.

A utilização de um maior volume de solução não prejudicou os resultados. Estes até melhoraram como se verifica, visto que a maior diferença passou de 0,16 para 0,06 no caso da cal e de 0,28 para 0,14 no caso da magnésia.

Além disso, na titulação do cálcio não se verificou a formação do precipitado a que se fez referência, o que tornou a titulação mais fácil.

A2-TE-1-60-330
ROMAR
UMA ORGANIZAÇÃO AO SERVIÇO DA INDÚSTRIA
TODOS OS EQUIPAMENTOS
para construção civil
e obras públicas
175A
MICHIGAN
Exponha-nos o seu problema
O nosso Gabinete Técnico
encontrará a solução adequada
LISBOA
R. DA BOA VISTA, 83-1.º-D.
TELEFS. 672161/2/3/4/5.
LUANDA
LARGO DA REPÚBLICA, 29
LOURENÇO MARQUES
AV. MANUEL DE ARRIAGA, 55-1.º
PORTO
R. DE SÁ DA BANDEIRA, 589
TELEFS. 25871-32205

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS

SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 93
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

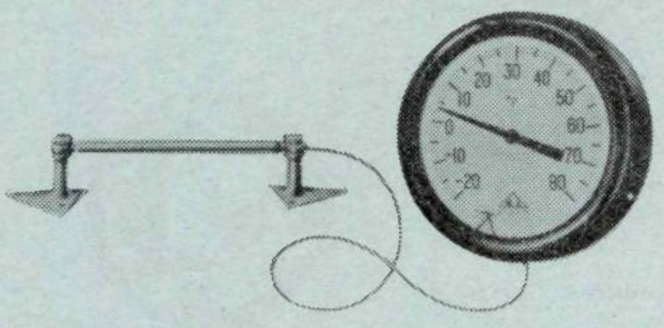
FELTROS, FILTROS E TECIDOS INDUSTRIAIS PARA TODOS OS FINS:

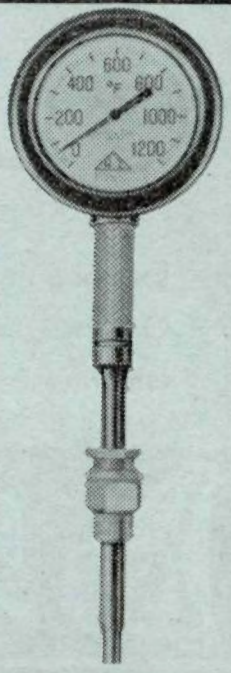
EM PEÇAS, PANOS, MANGAS OU SACOS,
DE QUALQUER FIBRA

PASTA PARA PAPEL
PAPEL
FIBROCIMENTO
CURTUMES
FIAÇÕES DE ALGODÃO
LINHAS
INDÚSTRIAS QUÍMICAS

TECELAGENS
ACABAMENTOS
TINTURARIAS
LAVANDARIAS
ESTAMPARIAS
FILTROS
DESPOEIRAGEM

Leituras claras e rigorosas





Termómetros de mostrador para todos os fins industriais com a garantia NEGRETTI & ZAMBRA quanto a precisão e robustez.
À esquerda, um dos novos tipos "Standard" e, à direita, um dos modelos próprios para motores Diesel — apenas dois exemplos de uma larga gama abrangendo centenas de modelos.
Grande variedade de modelos para entrega imediata na fábrica.

NEGRETTI & ZAMBRA

Peça catálogo em Português aos Representantes exclusivos em Portugal e Provincias Ultramarinas:
MARTIN LESLIE & CIA. LDA.
Campo das Cebolas, 43 3.º D. - LISBOA-2
Tel. 3 28 24 e 3 52 34

Sede: NEGRETTI & ZAMBRA LTD.
Regent Street, London W.1

QUADRO 6

Percentagens de cal e magnésia, quando se utiliza uma só toma de cimento

Cimento	% OCa				% OMg			
	Complexometria		Gravimetria	Diferenças (a)	Complexometria		Gravimetria	Diferenças (a)
	Sobre 100 ml	Sobre 25 ml			Sobre 100 ml	Sobre 25 ml		
1	63,93	64,07	63,91	+ 0,02	2,02	2,02	1,89	+ 0,13
2	64,07	64,21	64,10	— 0,03	0,55	0,96	0,68	— 0,13
3	64,49	64,63	64,43	+ 0,06	1,86	2,10	1,94	— 0,08
4	63,72	63,72	63,70	+ 0,02	1,70	1,76	1,84	— 0,14

(a) Diferenças entre as primeira e terceira colunas.

3 — *Método rápido de separação da sílica*

Uma vez verificada a possibilidade de se utilizar sòmente uma toma de 1 g para os doseamentos referidos, tentou-se ainda melhorar o tempo da análise aplicando o método rápido de eliminação da sílica descrito na Esp. 45-1956 do L. N. E. C.

Nesta técnica ataca-se 1 grama de cimento misturado com igual peso de cloreto de amónio, por 10 ml de ácido clorídrico (d = 1,19).

Terminada a reacção e adicionadas umas gotas de ácido azótico deixa-se repousar durante 30 minutos em banho de vapor.

Filtra-se o resíduo, que se lava com ácido clorídrico (1:9) e água quente e que serve para determinação da sílica depois de calcinado. Este filtrado e águas de lavagem são levados a 250 ml, donde se retiram as tomas para análise dos 4 óxidos.

As análises realizadas sobre 6 amostras de cimento forneceram os resultados compilados no quadro 7.

Destes valores salienta-se a boa concordância evidenciada pelas máximas diferenças de 0,13, 0,27, e 0,18, respectivamente para a alumina, óxido de cálcio e magnésio.

QUADRO 7

Percentagem de alumina, cal e magnésia, utilizando a eliminação da sílica pelo método rápido

Cimento	% de óxido de alumínio			% de óxido de cálcio			% de óxido de magnésia		
	Complexometria	Gravimetria	Diferenças	Complexometria	Gravimetria	Diferenças	Complexometria	Gravimetria	Diferenças
1	5,70	5,75	— 0,05	63,79	63,91	— 0,12	1,96	1,89	+ 0,07
2	5,50	5,57	— 0,07	63,37	63,49	— 0,12	1,92	1,82	+ 0,10
3	4,68	4,74	— 0,06	64,15	64,10	+ 0,05	0,50	0,68	— 0,18
4	4,89	4,95	— 0,06	64,70	64,43	+ 0,27	2,07	1,94	+ 0,13
5	5,16	5,06	+ 0,10	64,77	64,75	+ 0,02	1,71	1,71	0,00
6	5,30	5,17	+ 0,13	63,58	63,70	— 0,12	1,66	1,84	— 0,18

Aproveitaram-se, também, estes ensaios para avaliar o tempo gasto na execução conjunta das determinações referidas, incluindo a sílica. Verificou-se que eram necessárias apenas 6 horas

para a sua realização, em duplicado, o que representa uma economia de dois terços do tempo total requerido para análise dum cimento pelos métodos correntes.

III — CONCLUSÕES

As considerações expostas e o trabalho experimental realizado permitem, então, tirar as seguintes conclusões:

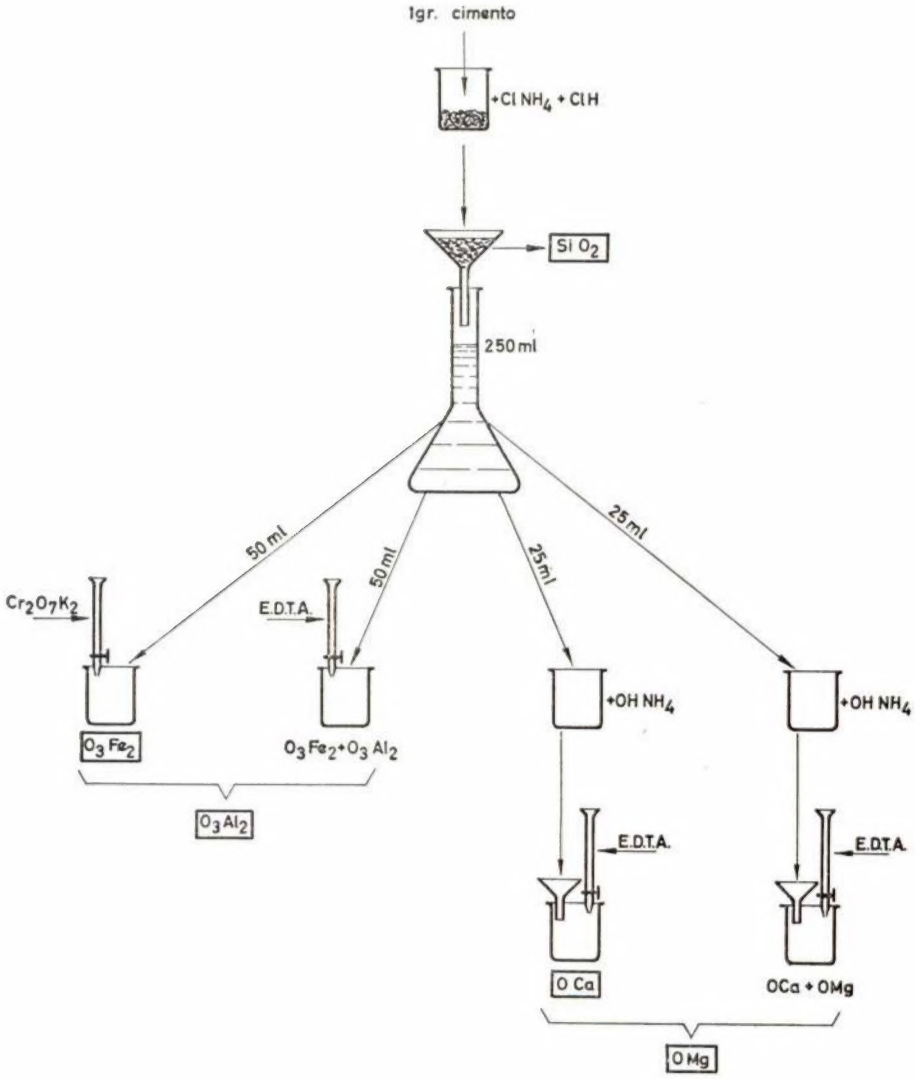
1.º — O método complexométrico aplicado às determinações dos óxidos de alumínio, cálcio e magnésio conduz a resultados de tanta precisão como a dos métodos habituais.

2.º — Nestes ensaios a complexona é sempre utilizada na mesma concentração, o que limita a 3 o número total de soluções tituladas a empregar nas quatro determinações: a de dicromato de potássio, a de zinco e a de EDTA.

3.º — Tendo-se efectuado a titulação da complexona utilizada com soluções padrão de zinco e de magnésio verificou-se que, pràticamente, não há necessidade de realizar essa titulação podendo considerar-se a complexona como substância base.

4.º — Os resultados podem, eventualmente, ser ainda melhorados se se empregar uma bureta mais precisa que a utilizada, permitindo a leitura de fracções de décimos de mililitro, e, no caso do magnésio e do cálcio, aquecendo a solução para acelerar a reacção.

5.º — Sendo os indicadores utilizados de natureza orgânica alteram-se com alguma facilidade,



em especial, o murexida e o negro de eriocromo. (*)

Estes deverão renovar-se pelo menos todas as semanas e serem conservados em lugar fresco.

6.° — Finalmente, verificou-se haver grande economia de tempo na utilização do método complexométrico e da marcha da análise estudada que permite fazer as determinações de SiO_2, Al_2O_3, O_3Fe_2, OCa e OMg.

7.° — Na página anterior apresenta-se esquemàticamente o método de análise rápida sobre uma mesma toma de cimento para os compostos referidos.

BIBLIOGRAFIA

(1) — A. Huart — Chimie & Industrie — Maio 1953 — 855

(2) — Kolthoff — Lingane — Polarography — II — 1953

(3) — LNEC-E 47-1956

(4) — J. Calleja e J. M. Fernandez Paris — Revista de Ciência aplicada — 69-1959

(5) — ASTM-C-114-47

(6) — Arturo Rio — Maria Todaro — Industria Italiana del Cemento — Junho 1955

(7) — I. S. O. — Standard for chemical analysis of cements

(8) — F. Becker — Revue des matériaux de construction 431-432-1951

— Charlot et Bezier — Analyse Quantitative Mineral —1955

— ASTM Bulletin-157-1949

APPLICATION OF MODERN PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS IN THE QUICK ANALYSIS OF CEMENTS. COMPLEXOMETRY.

SUMMARY

Some general notions are first presented on the application of modern physical and chemical methods to the analysis of cements, such as spectrophotometry, spectrography, polarography and complexometry.

Complexometric methods being possible without a very specialized staff and with current laboratory material, a method of quick analysis was studied with the chief aim of making possible a laboratory control in cement works.

The method is summarily described below:

Take 1g of cement. After an attack with ammonium chloride and hydrochloric acid and after adding a few drops of nitric acid, silica becomes insoluble and its percentage is determined by gravimettric methods. From the filtrate, the volume of which is increased to 250 ml, four samples are taken, two of 50 and two of 25 ml. The ferric oxide is determined by volumetric methods with potassium dichromate in one of the 50 ml sample and the total oxide content ($O_3Fe_2 + O_3Al_2$) is determined in the other by complexometry with EDTA. After separation of the hydroxides, the calcium oxide and the total (OCa + OMg) contents are determined in each of the samples of 25 ml by complexometric methods. Thus the silicon dioxide, the ferric oxide and the calcium oxide are directhy determined and the aluminum oxide and the magnesium oxide are obtained by difference

The analysis carried out by the methods described supplied results of about the same accuracy as the current methods, and the time required for a double determination of the components indicated amounted to 6 hours.

(*) Em ensaios posteriores a esta comunicação substituíram-se, com resultados idênticos, estas soluções por misturas sólidas com Cl Na a 1 % de indicador.

C. D. U. 621.311.5/94

Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

— Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.)

NOTA: *As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 94 % dos totais do País*

OUTUBRO

I — Breve nota mensal

Sob o ponto de vista hidrológico, o mês de Outubro apresentou-se, no conjunto, acima da média. Entre as afluências de Outubro dos 37 anos para os quais os Serviços do R. N. C. dispõem de registos, a que mais se aproxima da ágora verificada e a relativa a 1939 a qual, no entanto, foi apenas de cerca de 70 % da registada em Outubro de 1960.

II — Elementos gerais (GWh)

a) Mensais

	1959	1960	Variação %
Produção hidráulica (P_h) . . .	241,6	272,8	+ 13
Produção térmica (P_t)	0,3	0,0	— 100
Produção total (P_T)	241,9	272,8	+ 13
Produção para consumos não perman. (P_{cnp}) . .	55,1	66,3	— 20
Produção para consumos permanentes (P_{cp}) . .	186,8	206,5	+10,5 (1)

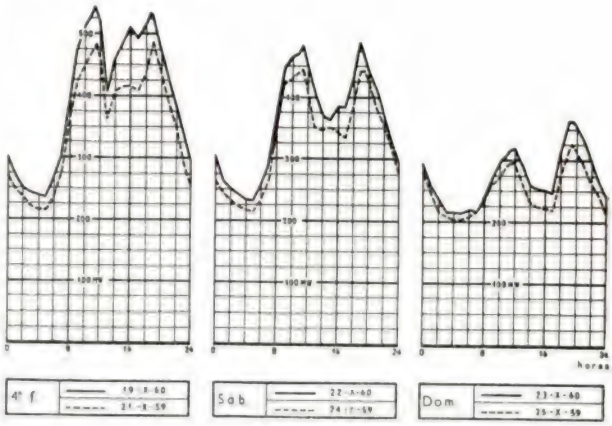
b) Acumulados desde 1 de Janeiro de 1959 e 1960

	1959	1960	Variação %
Produção hidráulica (P_h) . . .	2255,6	2428,8	+ 8
Produção térmica (P_t)	14,8	43,2	+192
Produção total (P_T)	2270,4	2172	+ 9
Produção para consumo não perman. (P_{cnp}) . .	570,0	533,4	— 6
Produção para consumos permanentes (P_{cp}) .	1700,4	1938,2	+14 (1)

Nota: (1) O aumento percentual de produção para consumos permanentes, tendo em conta a incidência dos domingos e dias especiais, foi respectivamente de 14,1 e 13,5 %.

III — Diagrama de carga dos dias característicos

	4.ª feira:	
	21-10-959	19-10-960
Produção hidráulica (P_h) — MWh	8574	9712
Produção térmica (P_t) — MWh . .	0	0
Produção total (P_T) — MWh . . .	8574	9712
Produção para consumos não permanentes — MWh	1948	1884
Utilização da ponta (U) — horas	17,7	17,9
Factor de carga (α)	0,74	0,75
Relação $\frac{\text{Pot. mín.}}{\text{Pot. máx.}}$ (r)	0,44	0,44



IV — Energia armazenada nas principais albufeiras

Albufeiras:	No fim do mês	
	GWh	% (1)
Paradela	222,5	100,0
Venda Nova	86,4	67,5
Salamonde	24,8	89,9
Caniçada	30,1	90,9
Cabril	0,0	0,0
Castelo do Bode	155,7	95,5
Guilhofrei	8,3	100,0
Lagoa Comprida	32,8 (2)	100,0
Santa Luzia	49,5	80,4
Pracana	12,9	100,0
Póvoa	7,7 (3)	57,7
Total . . .	630,7	60,5

Notas:

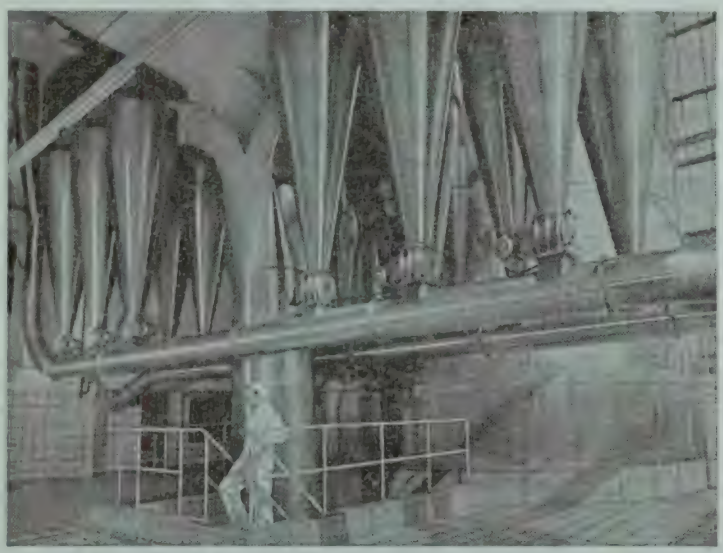
(1) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras.

(2) Inclui 3,4 GWh armazenados em Vale do Rossim.

(3) Inclui 1,7 GWh armazenados no açude do Poio.

ANHYDRO

INSTALAÇÕES DE SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO E DE EVAPORAÇÃO PELO VÁCUO



Instalações modernas com múltiplas vantagens

Instalação AHNYDRO de secagem por atomização fornecida a Wilts United Dairies, Ltd. — Whitland, Wales.

Capacidade de evaporação :
3660 lbs/h (1660 kg/h)

Consumo de vapor * :
7320 lbs/h (3320 kg/h)

Potência consumida :
25 kW

* incluindo o vapor para a turbina do ventilador.

Uma das maiores instalações do mundo!

Os Evaporadores e instalações de secagem por Atomização ANHYDRO, são usados em todo o mundo na secagem de leite, ovos, sangue, extracto de tanino, lexívia sulfatada, caolino, sabão e detergentes e ainda uma grande variedade de outros produtos alimentares, produtos químicos, farmacêuticos, etc.

ANHYDRO fornece algumas das maiores instalações do mundo, as quais satisfazem as exigências sempre crescentes de uma melhor qualidade do pó e maior economia de produção. Para a obtenção de produtos em pó, as instalações ANHYDRO oferecem as maiores vantagens, reduzindo as despesas de produção e manutenção. Um tempo curto de retenção no secador, graças à remoção forçada, assegura um produto de alta qualidade.

V. Ex.as têm à sua disposição a experiência especializada dos nossos engenheiros, fruto da montagem de muitas instalações em várias indústrias. Queiram escrever-nos pedindo literatura e mais informações.

— Usadas em todo o mundo

ANHYDRO

Representante em Portugal

Mundinter - Intercâmbio Mundial de Comércio, SARL

Av. António Augusto de Aguiar, 138 - Lisboa - Tel. 73 21 31/7 - Teleg. Intercâmbio

ANHYDRO A/S - NORREGADE 36 - COPENHAGUE - DINAMARCA

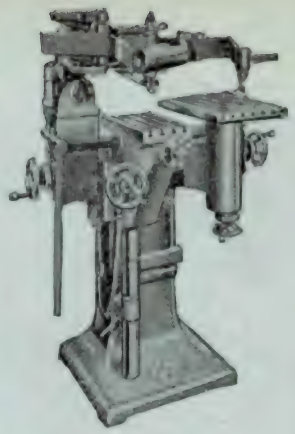
Alexander

Pantógrafos «Alexander» tri-dimensionais

Máquinas de copiar, por meio de pantógrafo, tri-dimensionais, usadas em quase todos os ramos da indústria de engenharia, para a produção de formas de formato irregular, moldes e cunhos.

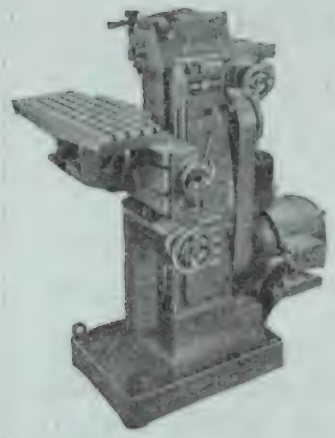
O pantógrafo, regulado òpticamente, assegura o máximo de perfeição e detalhe na reprodução.

A árvore, regulada dinâmicamente, reduz ao mínimo e, muitas vezes, elimina a necessidade de se terminar, manualmente, qualquer trabalho.



Fresadoras «Alexander» para a preparação de ferramentas

São máquinas destinadas à fresagem de todas as ferramentas — as máquinas ideais para longos periodos de produção. Equipadas com uma série de dispositivos de alta concepção, permitem efectuar, pràticamente, todas as operações necessárias para fabricação de ferramentas, calibradores, peças acessórias, instrumentos para medidas de precisão, moldes, buris e ferramentas para cunhagem.



Gravadoras «Alexander»

A gravura mostra uma das séries de máquinas gravadoras «Alexander» bi-dimensionais. O modo de trabalhar com estas máquinas é tão simples, que até um operador inexperiente poderá conseguir com elas trabalho de alta qualidade, a grande velocidade.

Trabalhando a partir de moldes ampliados ou da mesa de copiar, poderão gravar-se letras e desenhos sobre muitos materiais.

Poderá também ser efectuada a perfilação de pequenas peças e a fabricação de cunhos, fresas e buris.

Utilizando guias de perfilação e dispositivos giratórios para gravar, poderá fazer-se também a gravação de letras e desenhos em superfícies côncavas e convexas.

Distribuidores para Portugal

CRUZ & CRUZ, L.DA

Rua da Conceição, 21
PORTO — PORTUGAL

OCIDENTE

IMPORTADOR
E
EXPORTADOR, L.DA

*

R. Eduardo Coelho, 16
Telefs: 36 78 59-3 43 70-3 33 88
LISBOA

C. D. U. 691.327 : 620.163

O CONTROLE DA FABRICAÇÃO DO BETÃO E A MEDIÇÃO DA SUA QUALIDADE NO ESTALEIRO

PELO ENG. CIVIL (I. S. T.) A. DE SOUSA COUTINHO

Investigador do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

(Conclusão)

CAPÍTULO IV

EXEMPLOS DA APLICAÇÃO DO CONTROLE DO BETÃO EM ALGUNS ESTALEIROS NACIONAIS

18. Obras da Ponte da Arrábida. — Os resultados que vão ser apresentados a seguir referem-se apenas ao betão utilizado nos pilares do viaduto que enquadram o arco e suportam o tabuleiro da ponte.

O betão fabricado para esta parte da obra é constituído por britas de granito azul, de alta resistência, muito são, de grão fino e uniforme e por uma areia natural. A brita é obtida e preparada no próprio estaleiro, não sofrendo qualquer lavagem.

As curvas granulométricas médias das diferentes classes dos inertes estão indicadas na fig. 10. O betão utilizado nos pilares da margem direita tem uma granulometria segundo a curva de Faury (fig. 11) sendo constituído por três classes de brita e uma areia e o dos pilares da margem esquerda segue uma granulometria de Fuller, sendo composto apenas por duas classes de brita e uma areia (fig. 11).

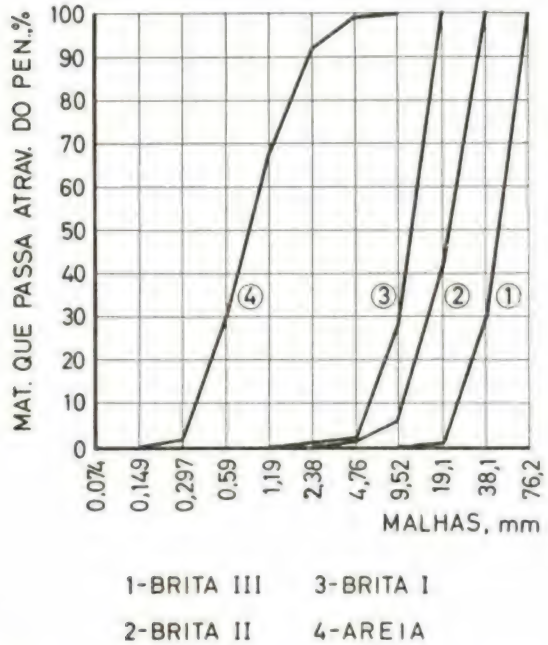


Fig. 10 — Curvas granulométricas médias dos inertes usados na construção dos pilares do viaduto de acesso à Ponte da Arrábida.

Em qualquer caso o betão é doseado com 400 kg de cimento e 132 litros de água por metro cúbico, e o cimento é recebido de uma só origem. Cada remessa de cimento é sujeita aos ensaios de resistência a que se refere o «Caderno de encargos para o fornecimento e recepção do cimento portland normal». (16)

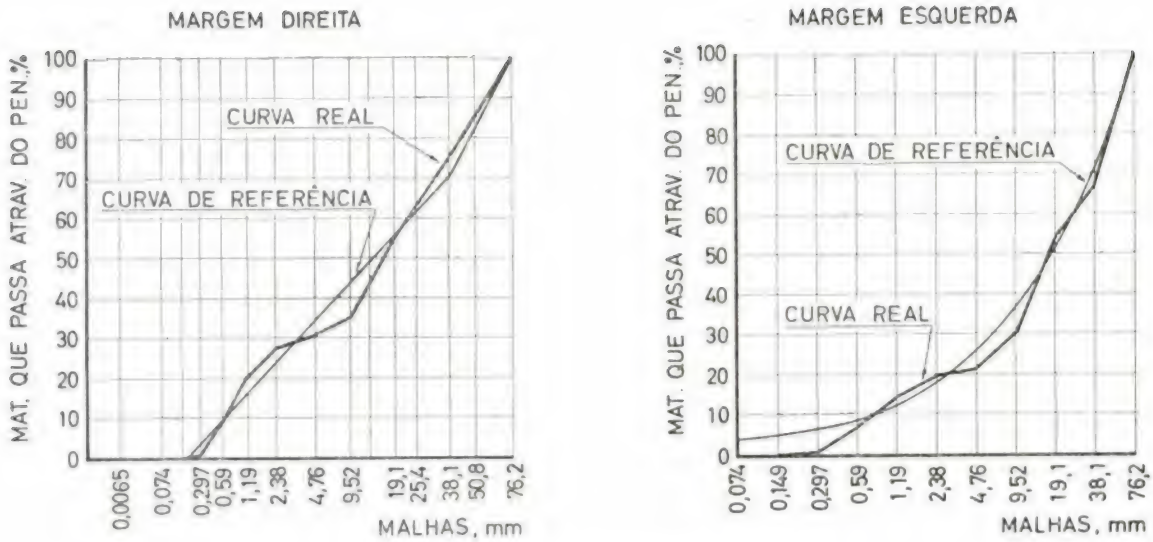
Os inertes são doseados em peso, estando em geral, secos, pois não sofrem qualquer acção de lavagem; como estão armazenados ao ar livre, a humidade que possam conter é proveniente da chuva. A areia está normalmente húmida.

A correcção da água de amassadura é feita tendo em conta a humidade da areia e dos outros inertes, quando húmidos. A primeira é determinada por meio do método do frasco de Chapman (§ 9), e a dos outros inertes é determinada por secagem em estufa.

A determinação da granulometria dos inertes, que é realizada antes de cada betonagem, mostra que o intervalo de variação dos seus módulos de finura não excede pràticamente 0,40 a 0,60 (fig. 12). Apesar disto, antes de cada betonagem faz-se o ajustamento dos inertes à curva de referência, calculando-se as suas proporções.

A medição da qualidade do betão é feita a partir do ensaio, com 28 dias de idade, de três cubos colhidos de uma amassadura, em cada dia de betonagem.

Na fig. 13 estão indicados os histogramas das tensões de rotura que se têm obtido a 28 dias, quer nos ensaios de recepção do cimento em



INERTES	MÓD. DE FIN.	PERCENTAGENS	
		MARG. DIR.	MARG. ESQ.
BRITA III	8,69	35	47
BRITA II	7,51	18	—
BRITA I	6,69	17	32
AREIA	3,09	30	21

CIMENTO 400 kg m^{-3}
ÁGUA — 132 l m^{-3}

Fig. 11 — Curvas granulométricas de referência e composição dos betões utilizados nos pilares da margem esquerda e da margem direita do viaduto de acesso à ponte da Arrábida, e composição respectiva.

compressão, quer nos ensaios de rotura dos cubos. Para traçar estes histogramas não se tomou a média dos três cubos de uma amassadura, tendo sido considerados estes cubos como pertencentes a amassaduras diferentes.

Como se vê, a precisão atingida na fabricação destes betões é notável, sendo de 7 % e de 10 %, isto é, as mais altas precisões que são atingidas em estaleiro. É interessante notar que o betão da margem direita, fabricado com três britas e uma areia, apresenta uma precisão superior ao fabricado com duas britas e uma areia, que foi utilizado na margem esquerda (quadro VII).

O cimento apresenta uma dispersão um pouco inferior à que ele possui na fabricação normal, embora o valor médio das suas resistências seja pràticamente igual.

19. Obras da ampliação do porto do Funchal.* — Estas obras consistem no alargamento do molhe já existente e no seu prolongamento, numa extensão de cerca de 400 m. Este prolongamento é constituído por um enrocamento de basalto sobre o qual assentam, do lado do porto, caixões de betão armado que constituem a fundação dum muro cais, e do lado do mar, caixões de betão simples para a fundação dum muro cortina. As células exteriores dos caixões de betão armado são cheias com betão pobre e as células interiores com inertes.

O muro cais e o muro cortina são construídos «in situ» e o espaço entre eles é preenchido com enrocamento coroado por uma placa de betão simples com 1 m de espessura; para protecção exterior do lado do mar emprega-se um maciço de tetrápodes com um talude de inclinação de 5/4.

Os inertes naturais empregados no fabrico dos betões dos elementos acima mencionados são colhidos, na sua maior parte, na Praia Formosa, a alguns quilómetros a oeste do Funchal. São constituídos por areia e godos de dimensões bastante variáveis, dispondo-se geralmente por ordem decrescente de dimensões a partir da

(*) Este parágrafo é da autoria do Sr. Eng.º F. Peres Rodrigues, Assistente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

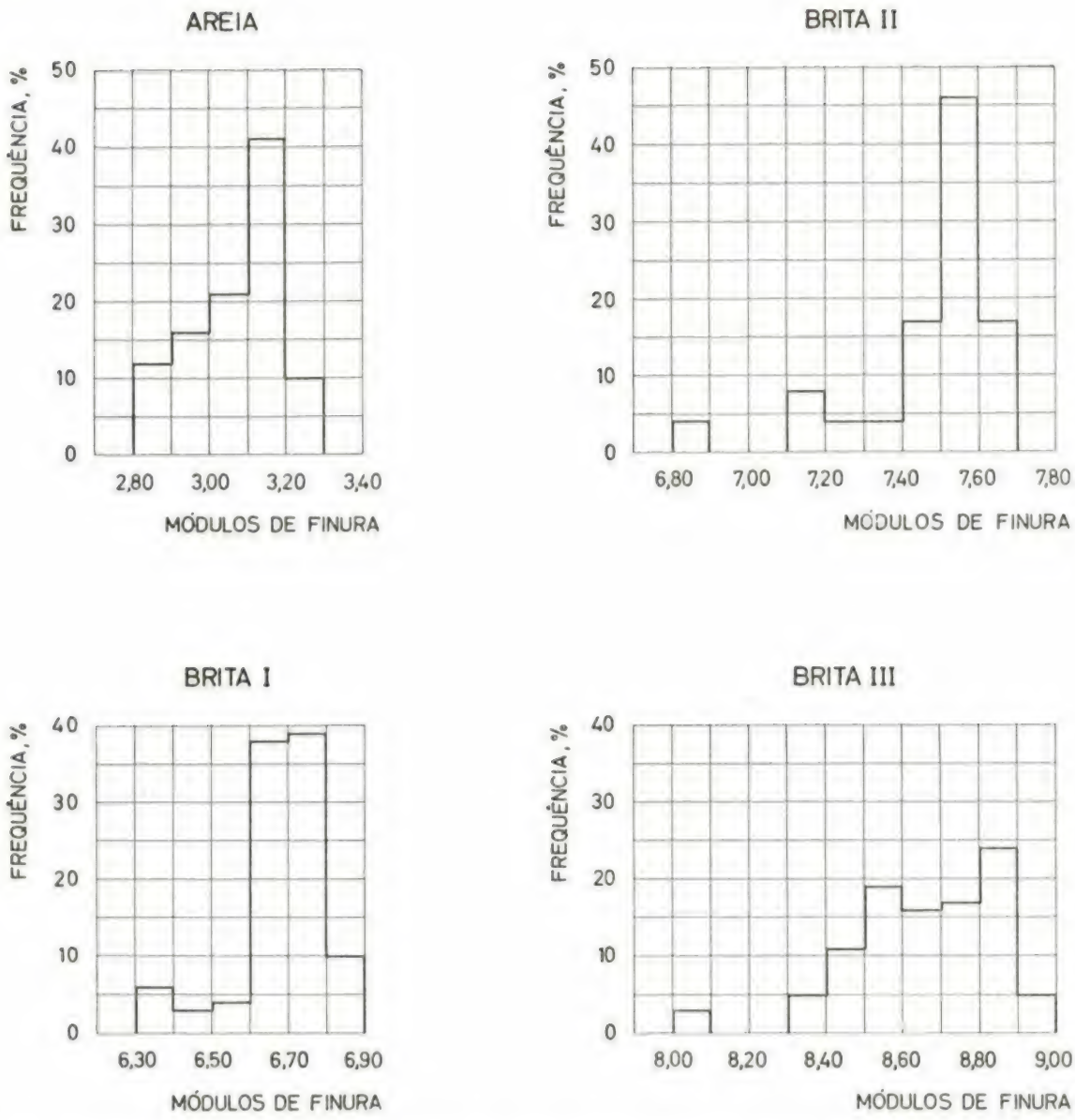


Fig. 12 — Histogramas dos módulos de finura dos inertes usados nos pilares do viaduto de acesso à ponte da Arrábida Número de ensaios, cerca de 70 por inerte.

parte superior do depósito. Daqui resulta que a extracção da areia se apresenta na maior parte do tempo bastante difícil, por se encontrar a certa profundidade, o que nem sempre a torna económica. Este facto, aliado ao baixo módulo de finura médio, com um elevado desvio padrão, obriga à confecção de uma areia britada, destinada não só a suprir a falta da areia natural, mas também a corrigir a sua falta de uniformidade.

Os inertes são transportados da Praia Formosa, depois de eliminados os elementos de dimensões superiores a 150 mm, para o local de lavagem, selecção e ensilagem. São separados em quatro fracções: uma areia e três godos, cujas curvas granulométricas e módulos de finura médios se encontram representados na fig. 14. Nesta figura está também representada a granulometria da areia britada.

O doseamento dos inertes para a fabricação do betão é feito em peso, por meio de uma balança eléctrica automática que permite a introdução sucessiva de quatro fracções de inertes. Os ligantes utilizados nestas obras — cimento e

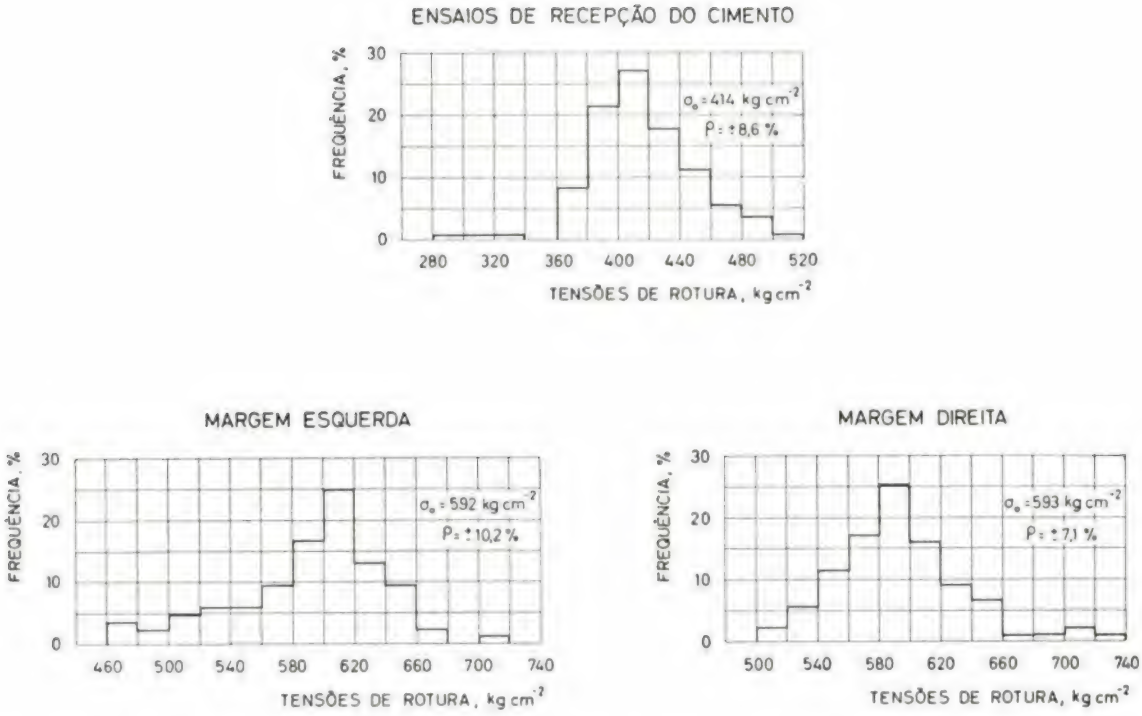
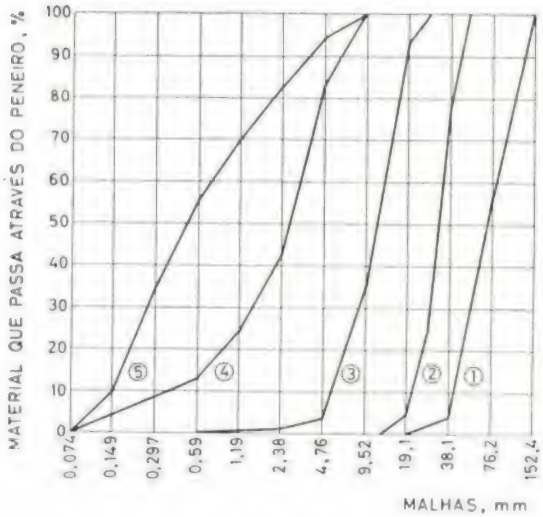


Fig. 13 — Obras da ponte da Arrábida. Histogramas das tensões de rotura dos cubos de controle do betão, e dos ensaios de recepção do cimento, em compressão e a 28 dias. Número de ensaios: cimento, 107; betões, 84 por cada série. No caso dos betões são tomadas todas as tensões de rotura dos cubos, considerando-se os 3 cubos tirados da mesma amassadura como pertencentes a amassaduras diferentes. σ_o, tensão média de rotura. ρ, coeficiente de variação.



	MF	DENS
1 - GODO III	9,76	
2 - GODO II	8,19	
3 - GODO I	6,67	2,96
4 - AREIA BRITADA	4,24	
5 - AREIA NATURAL	2,52	

Fig. 14 — Curvas granulométricas médias dos inertes usados nas obras de ampliação do porto do Funchal.

pozolana — são doseados em sacos. A água é doseada por meio da marcação prévia do seu volume numa escala de um depósito que permite a sua descarga automática.

As amassaduras são efectuadas em duas betoneiras de eixo horizontal com a capacidade útil de 1 metro cúbico cada.

Antes da instalação efectiva do controle da fabricação do betão — isto é, antes de 1958 — efectuaram-se determinações sistemáticas dos módulos de finura e das humidades relativas dos inertes, observando-se a precisão com que estes eram separados nas suas diversas fracções, o seu modo de ensilamento, o estado em que se encontravam quando eram lançados na colher da betoneira, a maneira como era medida e lançada a água, o transporte do betão, a sua trabalhabilidade e consistência e demais pormenores que se ligavam ao fabrico do betão.

Findas estas observações verificou-se que as dispersões dos módulos de finura das areias, natural, britada e mistura das duas, e ainda do godo I, as dispersões das suas humidades relativas e as dispersões da quantidade de água de

amassadura, não aconselhavam a adopção duma única curva granulométrica, obtida à custa das características médias dos inertes, pois que deste modo se iriam certamente obter grandes flutuações na qualidade do betão. No entanto, verificou-se, em contrapartida, que as granulometrias e as humidades se mantinham pràticamente constantes no godo II e no godo III.

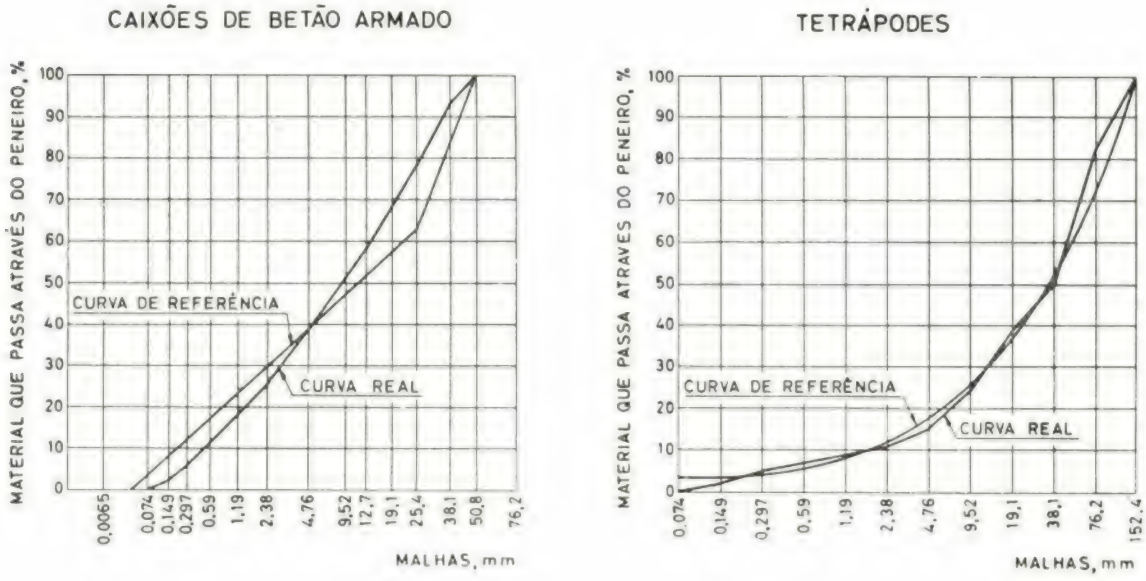
Assim, passou-se a determinar no estaleiro os módulos de finura e as humidades relativas das areias e do godo I e a compor-se o betão desejado de forma a manter constante o módulo de finura total do inerte, cujo valor tinha sido já fixado por estudos laboratoriais.

Indicam-se na fig. 15 as composições médias de dois betões empregados nestas obras, um destinado à confecção dos caixões de betão armado e outro destinado à confecção dos tetrápodes. Este último é um betão com pozolana natural de Cabo Verde.

A fig. 16 mostra um ábaco, a título de exemplo, que permite determinar, em função dos módulos de finura da areia (natural, britada, ou mistura destas duas) e do godo I, as percentagens destes inertes no betão destinado à confecção dos caixões, de forma a conservar constante o módulo de finura total do inerte (eq. 4, 5 e 6 do § 8).

A partir das percentagens da areia e do godo I, dadas pelos ábacos, e das suas humidades relativas calcula-se fàcilmente a composição ponderal de cada betão, mediante o preenchimento de impressos especialmente destinados a este fim.

A determinação da qualidade dos betões é efectuada a partir do ensaio de compressão de cubos de 20 cm de aresta aos 7, 28 e 84 dias de idade, que são imersos em água doce após desmoldagem e passadas 24 horas do seu fabrico. Ensaiam-se ainda cubos em idades superiores, mas imersos na água do mar, passados cerca de 28 dias da sua confecção, até à realização dos ensaios.



INERTE	MÓD. FIN	PERCENTAGEM	
		CAIXÕES	TETRÁPODES
AREIA	3,17	40 %	15 %
GODO I	6,67	30 %	15 %
GODO II	8,19	30 %	30 %
GODO III	9,76	–	40 %
CIMENTO		350 kg m^{-3}	200 kg m^{-3}
POZOLANA		–	100 kg m^{-3}
ÁGUA		137 l m^{-3}	120 l m^{-3}

Fig. 15 — Curvas granulométricas de referência e composição dos betões utilizados nos tetrápodes e nos caixões de betão armado das obras de ampliação do porto do Funchal.

QUADRO VIII

Valores médios das tensões de rotura e coeficientes de variação dos diversos tipos de betão fabricados no estaleiro das obras de ampliação do porto do Funchal

Betão	Dosagem kg m^{-3}		Módulo de finura total do inerte	Máxima dimensão do inerte (mm)	Tensão média de rotura, coeficiente de variação, n.º de determinações	7 dias			28 dias			84 dias		
						Semestres			Semestres			Semestres		
	Cimento	Pozolana				II 1957	I 1958	II 1958	II 1957	I 1958	II 1958	II 1957	I 1958	II 1958
Caixões	350	—	5,87	50	kg cm^{-2}	237	252	248	288	324	291	338	372	327
					%	13,8	11,5	13,3	15,8	9,3	11,3	12,8	12,4	12,5
					n.º	164	100	204	81	130	281	76	79	103
Tetrápodes	200	100	7,56	150	kg cm^{-2}	164	180	176	214	255	246	243	—	250
					%	14,3	15,0	11,9	11,8	11,0	12,2	15,2	—	7,2
					n.º	24	13	47	15	10	44	10	—	11
Muro cais	300	—	7,56	150	kg cm^{-2}	252	264	250	307	300	321	342	361	310
					%	18,2	10,2	20,4	13,4	16,0	8,7	13,4	16,1	3,2
					n.º	31	17	9	23	17	17	18	8	3
Enchimento das células dos caixões de betão armado	180	—	7,27	150	kg cm^{-2}	156	156	140	197	235	196	253	273	232
					%	25,4	21,7	25,0	14,4	19,1	16,3	17,5	17,9	15,5
					n.º	19	37	41	8	39	36	11	24	9
Valor médio dos coeficientes de variação do betão fabricado nos diferentes semestres					%	15,3	13,8	14,9	14,8	11,8	11,8	13,5	13,8	12,0

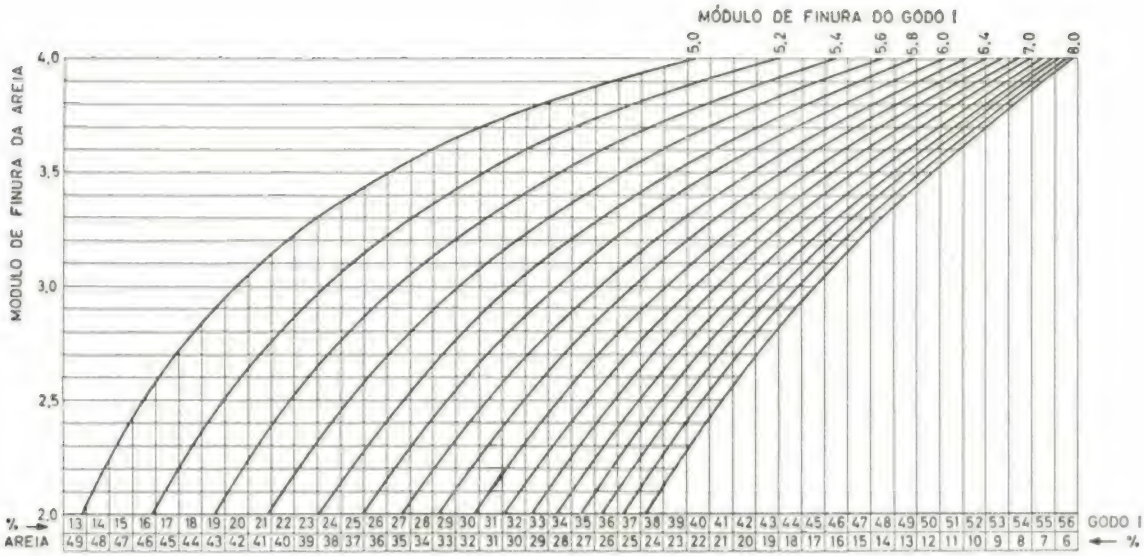


Fig. 16 – Ábaco para o cálculo das percentagens de areia e de godo I do betão utilizado no fabrico dos caixões de betão armado. A areia é natural, britada, ou mistura das duas em proporções prèviamente determinadas.

Os cubos correspondentes aos betões com a máxima dimensão do inerte de 150 mm são cheios com o betão passado através de um peneiro com malha quadrada de 50 mm.

Moldam-se, no máximo, 12 cubos por dia, distribuídos proporcionalmente ao volume de betão fabricado nesse dia. Cada cubo é fabricado com betão extraído apenas de uma amassadura.

No quadro VIII estão indicados os valores médios das tensões de rotura dos diferentes tipos de betão fabricados neste estaleiro e os seus coeficientes de variação, a 7 dias, 28 dias e 84 dias, no segundo semestre de 1957 e primeiro e segundo semestres de 1958. Neste quadro os betões estão caracterizados pelo local da sua aplicação, pela sua dosagem, módulo de finura e máxima dimensão do inerte.

Com o fim de obter um número que represente o coeficiente de variação do betão fabricado neste estaleiro calculou-se o coeficiente de variação médio do betão fabricado em cada semestre, e nas três idades. Estes coeficientes foram obtidos por cálculo da média ponderada dos coeficientes de variação dos diferentes betões, e acham-se indicados na última linha do quadro VIII. Como se verifica, o coeficiente de variação de betões fabricados com o mesmo grau de controle não é independente da idade, diminuindo à medida que esta aumenta (§ 17.2). Esta diminuição é nítida de 7 para 28 dias, e é mais confusa de 28 dias para 84 dias.

Para comparar o valor obtido no coeficiente de variação médio do betão fabricado neste estaleiro com os valores indicados no quadro VII estão

QUADRO IX

Coeficientes de variação médios, a 28 dias, do betão fabricado no estaleiro das obras de ampliação do porto do Funchal

Semestre	Coeficiente de variação %	Número de determinações
II semestre de 1957	14,8	127
I semestre de 1958	11,8	196
II semestre de 1958	11,8	378

indicados no quadro IX os coeficientes de variação apurados a 28 dias e nos diferentes semestres.

Dadas as condições deste estaleiro dever-se-ia obter um coeficiente de variação de 9 % a 10 % para os betões confeccionados com três tipos de inerte grosso e uma areia — quadro VII — e de 11 % a 12 % para o betão dos caixões de betão armado (dois tipos de inerte grosso e duas areias). O valor de 11,8 % é pois aceitável, se se notar que neste valor predomina o betão dos caixões, que é fabricado com dois tipos de inerte grosso e duas areias. Crê-se contudo que esta dispersão

poderia ser reduzida se se conseguisse manter num nível conveniente a precisão com que é medida a água de amassadura.

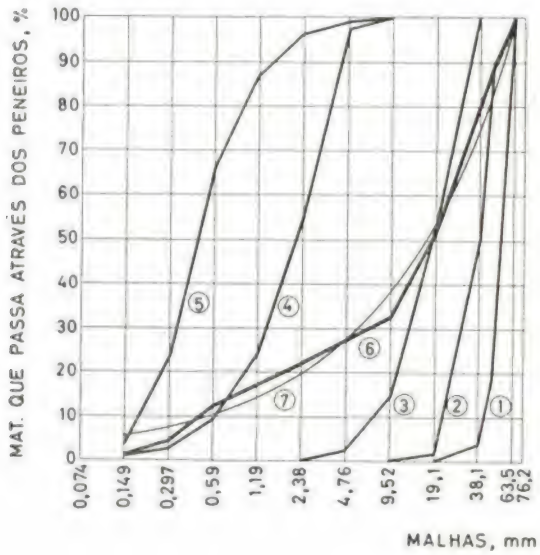
O coeficiente de variação correspondente ao II semestre de 1957 apresenta um valor superior ao que seria de esperar devido ao facto de, nesta data, não estar ainda montado o controle da fabricação do betão.

A análise dos resultados que acabámos de referir permite pois concluir que a instalação efectiva do controle da fabricação do betão a partir do I semestre de 1958,

a) — permitiu baixar o coeficiente de variação do estaleiro até valores compatíveis com as suas condições peculiares;

b) — provocou um aumento nas tensões médias de rotura do betão, melhoria essa mais acentuada no I semestre de 1958.

20. Obras do primeiro escalão do Metropolitano de Lisboa. — A estrutura da parte da via plena desta obra é constituída por uma abóbada de betão não armado, apoiada nos respectivos encontros, também de betão simples. A via assenta numa soleira que é igualmente de betão simples. Apenas a estrutura das estações é constituída por betão armado.



	M.F.	PERC.
1 - CASCALHO	8,91	11 %
2 - MEIO CASCALHO	8,46	17 %
3 - GRANITO	7,25	46 %
4 - AREÃO	4,11	8 %
5 - AREIA	2,22	18 %
6 - CURVA REAL		
7 - CURVA DE REFERÊNCIA (Fuller)		

Fig. 17 — Curvas granulométricas médias dos inertes dos betões usados na construção do primeiro escalão do Metropolitano de Lisboa. Curva granulométrica do betão do tipo I.

Para a realização desta obra foram utilizados dois tipos de betão: um, com a dosagem de 300 kg de cimento por metro cúbico, destinado à abóbada e designado por betão do tipo I, e outro com a dosagem de 270 kg de cimento por metro cúbico, destinado à soleira e aos encontros e designado por betão do tipo II.

Para a fabricação destes betões dispunha-se duma instalação para a britagem de calcário, sua lavagem e selecção, desde a máxima dimensão de 80 mm — referida a um peneiro de furos circulares, que corresponde a uma malha quadrada com cerca de 63 mm — até um material designado por areão, com dimensões compreendidas entre 5 mm e 0,6 mm.

Dispunha-se ainda duma areia natural, proveniente de areeiro, cujo reconhecimento prévio mostrou não só uma certa variabilidade na composição granulométrica, mas também uma insistência bastante acusada para a produção de areias muito finas, com módulos de finura inferiores a 2.

Na fig. 17 estão indicadas as curvas granulométricas médias destes inertes. O inerte que em dimensões se seguia à areia (areão entre 5 mm e 0,6 mm) apresentava-se em pequena quantidade devido ao fraco rendimento da exploração da brita, e era de granulometria irregular.

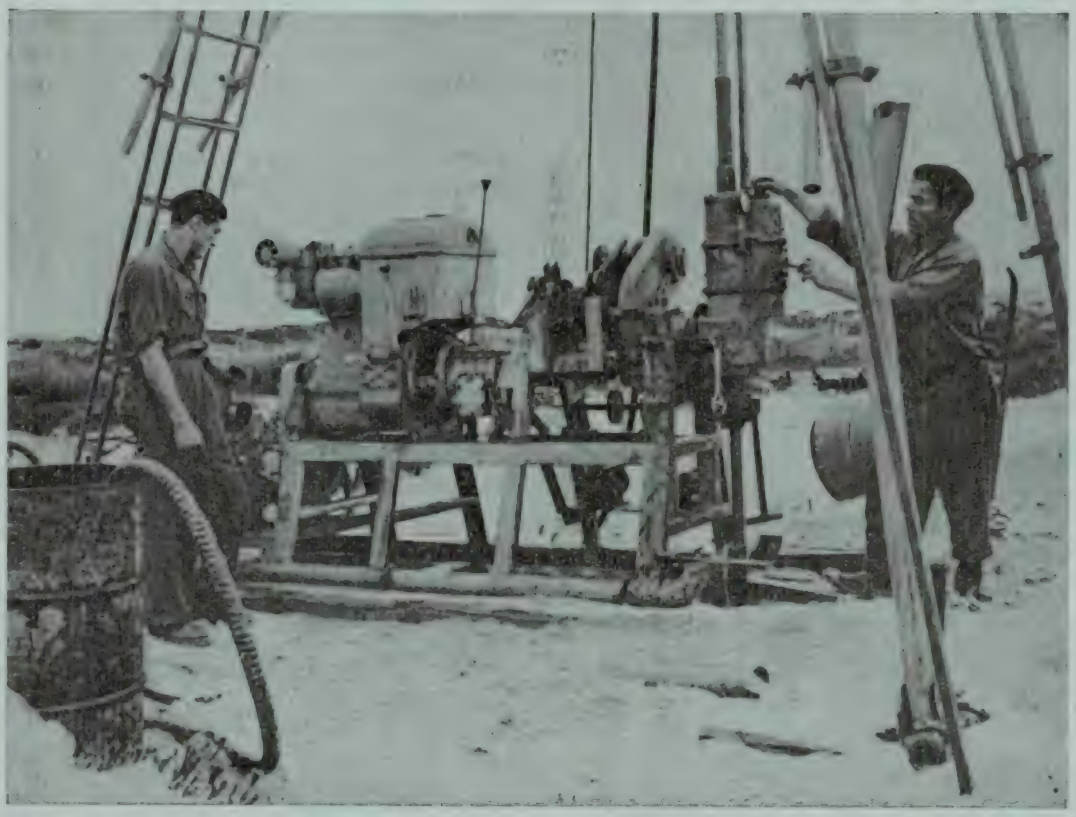
A fig. 18 dá uma ideia de variabilidade destes dois materiais, no ano de 1956, através da distribuição da frequência dos seus módulos de finura. O módulo de finura da areia variava entre 1,7 e 2,8, e o do areão entre 3,4 e 4,6. Como se vê são variações que saem bastante fora do intervalo de 0,40 que é reconhecido como o limite superior da variação da granulometria dos inertes, e a partir do qual é necessário fazer a correcção da curva granulométrica (§ 8).

A constância dos outros inertes era maior, e a variação do seu módulo de finura raramente excedia 0,40 de tal modo que com os valores médios das suas granulometrias se compôs uma granulometria média para os betões, segundo a curva de Fuller (fig. 17).

A variabilidade das granulometrias da areia e

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, L.DA

SECÇÃO DE PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA



Sonda rápida, com coroa de diamantes, empregada no estudo de pedreiras para a Direcção-Geral dos Serviços Hidráulicos

SEDE: PRAÇA DO MUNICÍPIO, 13-3.º — LISBOA

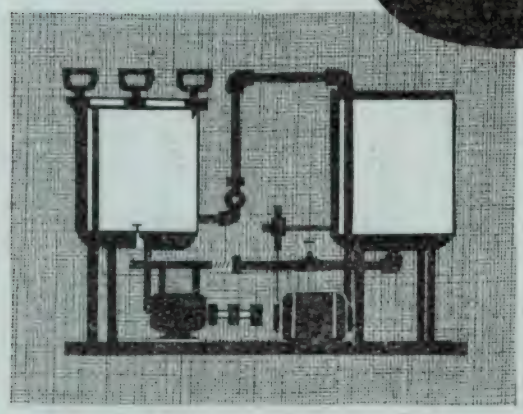
TELEFS. 2 23 44, 2 78 09 E 36 60 51/2

filtros FILFRO, L.da

ALGUMAS DAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES:

Água • Açúcar • Óleos vegetais, animais e minerais • Cerveja
Sabão líquido • Resinas naturais e sintéticas • Vinhos • Vinagre
Glicerina • Tintas • Vernizes
Sumos de frutos • Xaropes
Azeite • Industria química

FILTROS NACIONAIS PARA TODOS OS PROBLEMAS DE FILTRAÇÃO



Inteiramente fabricados em Portugal, por técnicos e operários portugueses, segundo a patente port. n.º 29.917

Dezenas de instalações a funcionar no país atestam a sua excelente qualidade.

RUA CAPITÃO FILIPE DE SOUSA, 128
CALDAS DA RAINHA

FILTROS FILFRO, L.da PORTUGAL

O MAIS RECENTE ÊXITO DA INDÚSTRIA ALEMÃ

Representantes:

Comércio de Automóveis DECAUTO S.A.R.L.

Rua Duque de Palmela, 27-A, 27-B

LISBOA

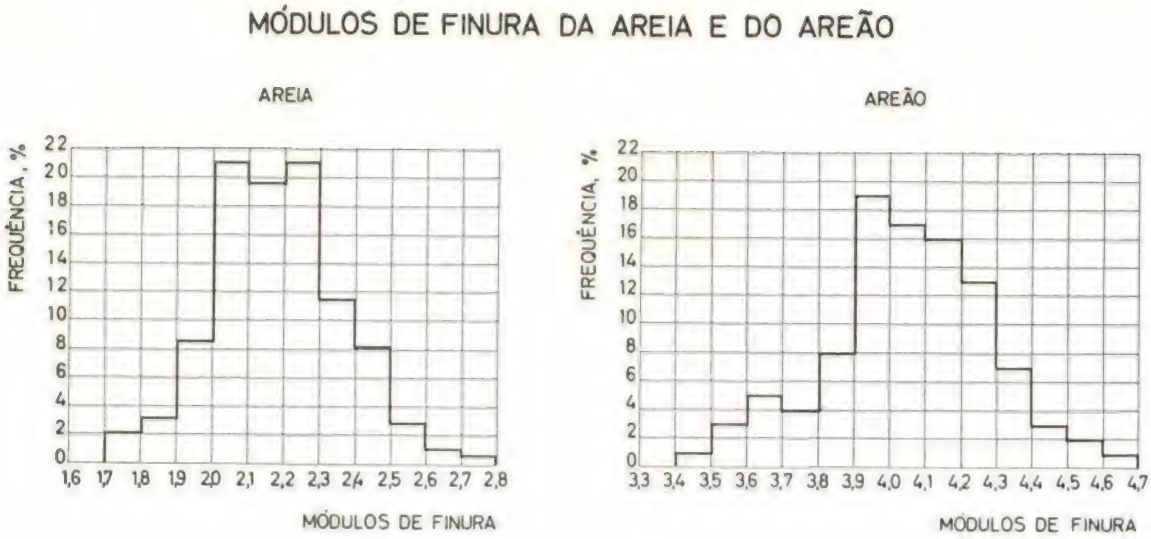


Fig. 18 — Histogramas dos módulos de finura da areia e do areão que entravam na composição do betão do primeiro escalão do Metropolitano de Lisboa. Número de ensaios da areia, 300, e do areão, 100.

do areão obrigaram portanto a adoptar a montagem dum controle por modo a que se pudesse fazer um ajustamento frequente da composição granulométrica do betão (§ 8).

Conhecidas as granulometrias médias da areia e do areão e calculados os seus módulos de finura, o gráfico da fig. 19, que representa as equações (4), (5) e (6) do § 8, permite determinar imediatamente as percentagens da areia e do areão necessárias para manter constante a granulometria do conjunto destes dois inertes.

Com o fim de simplificar o mais possível os cálculos da composição do betão para uma amassadura, tornando-os cómodos e simples, capazes de serem efectuados pelo pessoal encarregado da betonagem e da respectiva fiscalização, orientaram-se tais cálculos do seguinte modo:

As medições de todos os inertes eram feitas em volume, o que obrigava a determinar, conjuntamente com a granulometria, a sua corrrespondente baridade. Ao mesmo tempo aproveitavam-se estas determinações para medir a humidade: por meio do frasco de Chapman (§ 9) no caso da areia e do areão, e por secagem por acção da temperatura no caso dos outros inertes.

Estas operações eram realizadas, em geral, duas vezes por dia: uma vez no início de cada período de trabalho.

Conhecidos os módulos de finura do areão e da areia e as baridades respectivas, os gráficos da fig. 20 para o betão do tipo I, e outros semelhantes

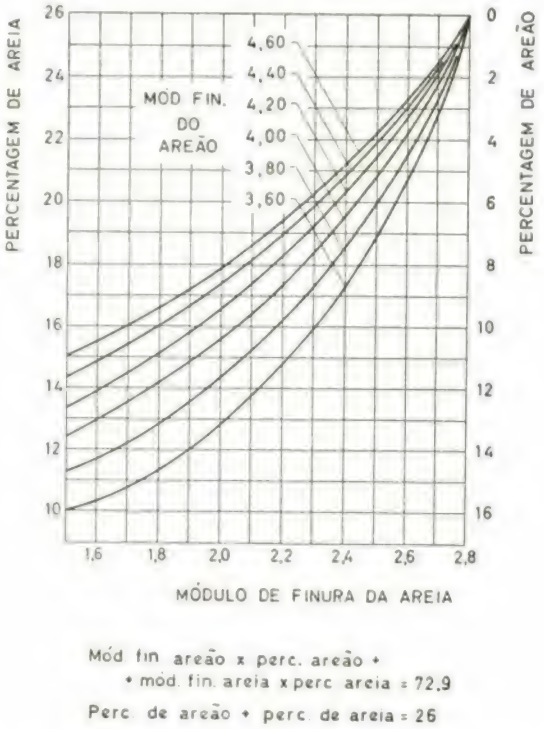


Fig. 19 — Representação gráfica das eq. (4), (5) e (6) do § 8, que permitem determinar as percentagens de areia e de areão, de modo a manter constante a granulometria do betão nas dimensões inferiores a 5 mm (fig. 17).

para o betão do tipo II, permitem determinar ràpidamente os volumes destes inertes para cada amassadura, que era de 500 litros. Os gráficos da fig. 20, de que só se indicam três para o

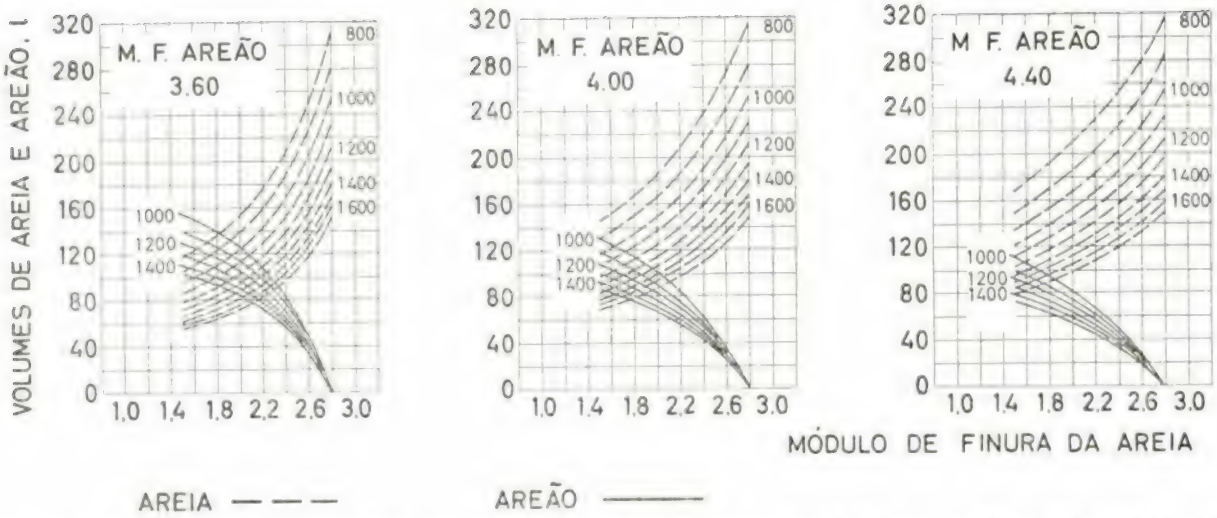


Fig. 20 — Gráficos para a determinação dos volumes de areia e areão para 500 l de betão, em função dos módulos de finura e das baridades destes inertes. Os números sobre as curvas indicam a baridade, em kg m^{-3}, da areia (a tracejado) e do areão (a cheio). Betão do tipo I.

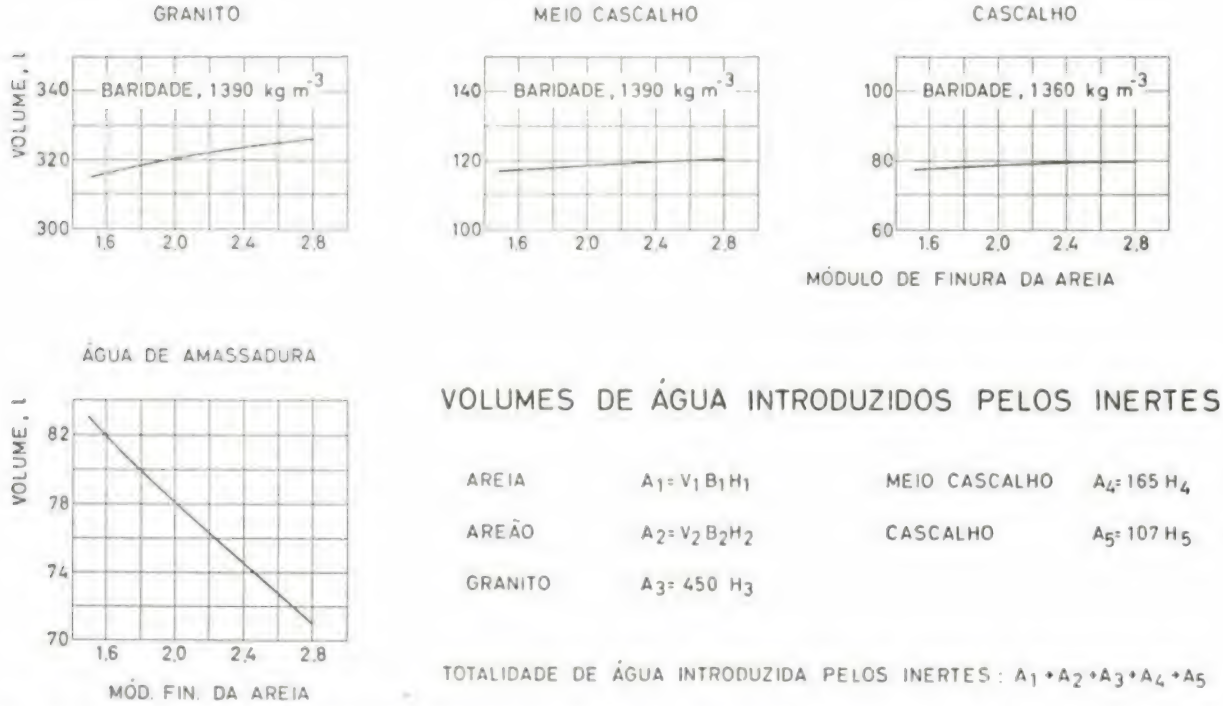


Fig. 21 — Gráficos para a determinação dos volumes dos inertes para 500 l de betão, além da areia e do areão, e da água de amassadura, em função do módulo de finura da areia. V, volume do inerte; B, baridade do inerte; H, humidade do inerte. Betão do tipo I.

betão do tipo I, como exemplo, foram organizados para módulos de finura do areão variando de 0,20, entre 3,60 e 4,60. Estes gráficos foram obtidos a partir do da fig. 19, e do conhecimento da água de amassadura de cada betão (fig. 21).

Como a água de amassadura é variável com os módulos de finura da areia, os pesos dos inertes por metro cúbico de betão variam com este parâmetro, e, na fig. 21 estão indicados os volumes dos restantes inertes e da água de amassadura, em função do módulo de finura da areia. No caso daqueles inertes, a baridade foi conside-

rada constante, pois a experiência mostrou que as suas variações com a granulometria eram muito pequenas.

No estaleiro o volume dos materiais era ajustado aos valores fornecidos por estes cálculos, mediante a variação da altura de enchimento das medidas respectivas.

Conhecidas as humidades dos inertes, o cálculo da água por eles introduzido na amassadura fazia-se fàcilmente a partir das expressões indicadas na fig. 21. A diferença entre a água dada pelo quarto gráfico da fig. 21 e a soma das águas introduzidas pelos inertes dava a água que era necessário introduzir na betoneira.

Deve, finalmente, referir-se que o betão do tipo I era fabricado com cimento proveniente de uma só fábrica, e o do tipo II era fabricado com cimento proveniente de duas fábricas.

A qualidade do betão era determinada por duas vias: pela análise do betão fresco, à saída da betoneira (§ 13), e pelas tensões de rotura, que se determinavam em flexão e compressão, a 7 dias e a 28 dias. Cada espécime para um dado ensaio a uma dada idade era fabricado com betão extraído apenas de uma amassadura.

A adaptação da montagem do controle ao que atrás ficou referido só veio a fazer-se cerca de 6 meses depois do início das primeiras betonagens.

Para avaliar o benefício de tal adaptação apresenta-se em seguida a comparação entre as características do betão no primeiro período de seis meses e no semestre que se seguiu.

No quadro X estão indicadas as características do betão, sob o ponto de vista das tensões de rotura, e na fig. 22 estão desenhados os histogramas respectivos do betão do tipo I antes do controle e durante o controle da fabricação.

A observação dos valores inscritos no quadro X e dos histogramas da fig. 22 mostra bem o benefício que se tirou do controle da fabricação. O coeficiente de variação passou de valores da ordem de 19 % para valores de 14 % a 15 % (a 28 dias), o que concorda bem com as indicações contidas no quadro VII.

Por outro lado, o maior coeficiente de variação obtido para o betão do tipo II, feito com o mesmo grau de controle do do tipo I, é certamente devido ao facto daquele betão ser amassado com cimentos provenientes de duas origens diferentes.

Estes resultados mostram ainda que o coeficiente de variação diminui com a idade, e que os coeficientes de variação das tensões de rotura por flexão são da mesma ordem de grandeza dos de compressão.

Deve observar-se que o betão do tipo I antes do controle apresentava uma tensão média de rotura, por compressão, a 28 dias, superior de 31 kg cm^{-2} aos valores médios apresentados após o controle. Mas enquanto no caso do betão sem controle há 1 % de resultados de cubos com tensões de rotura inferiores a 176 kg cm^{-2}, quando há controle este valor mínimo sobe para 195 kg cm^{-2}.

No quadro XI estão indicados os valores mínimos, isto é, os valores das tensões de rotura abaixo dos quais se obtém 1 % de ensaios, tanto calculados a partir do valor médio e do desvio padrão, como verificados experimentalmente.

QUADRO X

Caracteristicas de qualidade do betão das obras do primeiro escalão do Metropolitano de Lisboa, antes do controle e durante o controle da fabricação

Tensões de rotura	Idade, dias	Betão de tipo I						Betão do tipo II		
		Antes do controle			Durante o controle			Durante o controle		
		Número de determinações	Valores médios kg cm^{-2}	Coeficiente de variação %	Número de determinações	Valores médios kg cm^{-2}	Coeficiente de variação %	Número de determinações	Valores médios kg cm^{-2}	Coeficiente de variação %
Compressão	7	203	224	24	341	218	16	188	194	18
	28	136	321	19	165	290	14	64	249	18
Flexão	7	187	40	21	341	40	17	284	36	17
	28	145	50	19	157	52	15	83	44	16

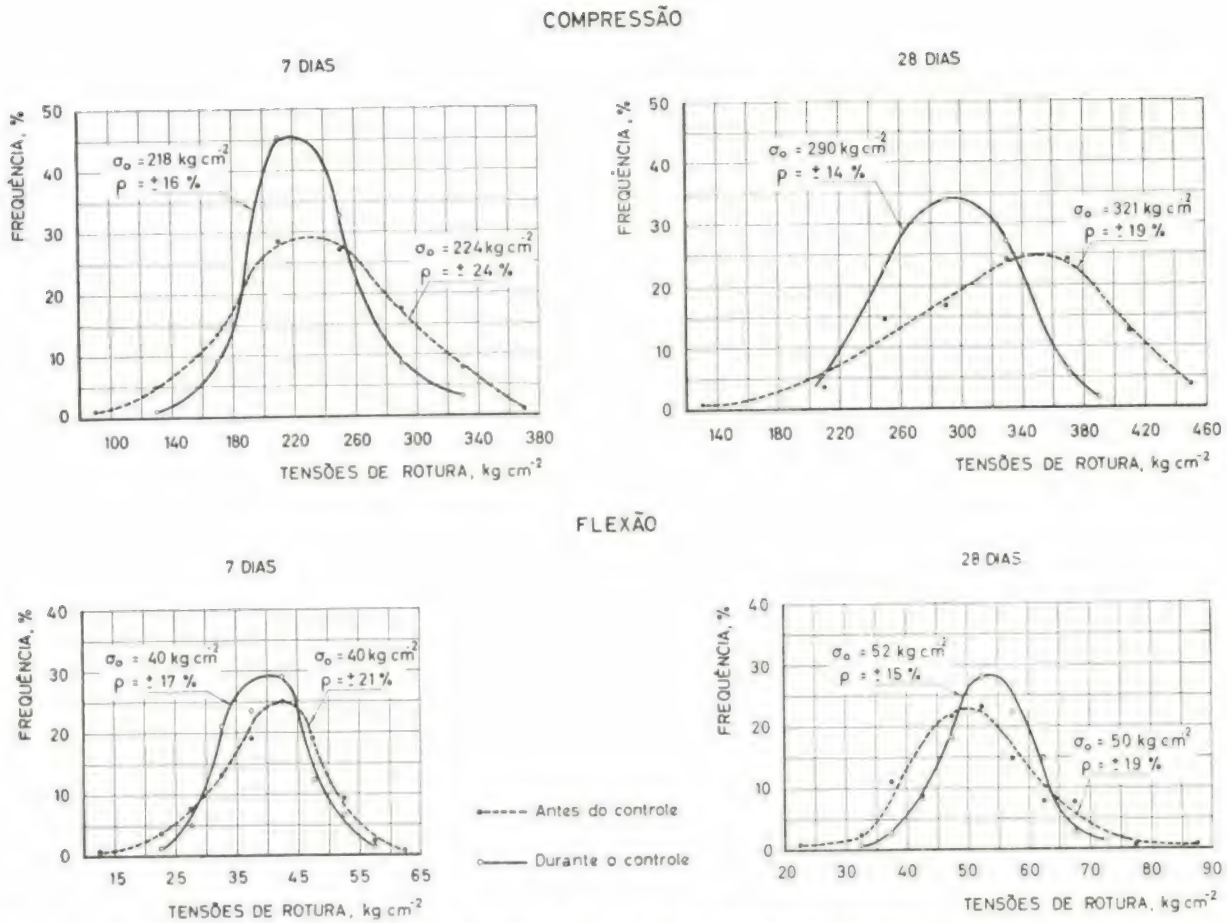


Fig. 22 — Histogramas da distribuição das tensões de rotura do betão do tipo I utilizado na construção do primeiro escalão do Metropolitano de Lisboa, antes do controle da sua fabricação, e depois do controle da sua fabricação.

QUADRO XI

Tensões de rotura mínimas (com a frequência de 1 %) calculadas e verificadas nos betões fabricados com controle

Tensão de rotura	Tipo I		Tipo II	
	Calculadas	Verificadas	Calculadas	Verificadas
Compressão, kg cm^{-2}	195	200	146	160
Flexão, kg cm^{-2}	33	30	27	25

Estes valores referem-se à idade de 28 dias e ao betão fabricado com controle.

A concordância é, como se vê, razoável; na flexão, as tensões mínimas observadas são ligeiramente inferiores às calculadas, verificando-se o contrário na compressão.

Sendo de 7 kg cm^{-2} a tensão de segurança à tracção, e de 70 kg cm^{-2} a de compressão nos casos mais desfavoráveis para o betão do tipo I, e, correntemente, de 30 kg cm^{-2} (41) verifica-se que o coeficiente de segurança, a 28 dias, é superior a 3,5 no caso da tracção, atingindo excepcionalmente o valor 3 na compressão, mas sendo normalmente superior a 5.

21. Dispersão da qualidade do betão em estaleiros sem controle da sua fabricação. — Analisemos agora o que se passa nos estaleiros em que não se faz qualquer controle da fabricação do betão, como é usualmente o caso.

Vão ser apresentados dois casos de obras nas quais o laboratório se limitou a colher amostras de betão, cubos para se determinar a tensão de rotura e amostras de betão fresco para a sua análise. Em ambos os estaleiros os materiais eram medidos em volume e o cimento em sacos, devendo referir-se que os estaleiros estavam

normalmente organizados, como é vulgar estarem entre nós.

21.1. Caso do estaleiro A. — A fabricação do betão para uma dada estrutura de betão armado durou 9 meses, e durante este período de tempo foram extraídos 22 cubos para ensaiar a 7 dias e 51 cubos para ensaiar a 28 dias.

Foram também colhidas amostras de betão à saída da betoneira para proceder à sua análise, tendo sido determinadas as dosagens de cimento, água, areia e brita.

Os resultados obtidos estão indicados no quadro XII

QUADRO XII

Composição média, tensão de rotura média e dispersão respectiva do betão fabricado durante 9 meses no estaleiro A

Composição	Valor médio kg m^{-3}	Desvio padrão kg m^{-3}	Composição do betão indicada pelo laboratório kg m^{-3}
Brita	1160	± 150	1280
Areia	720	± 100	640
Cimento	261	± 30	300
Água	179	± 11	154
Idade	**Valor médio kg cm^{-2}**	**Coeficiente de variação %**	**Tensão de rotura do betão fabricado no laboratório kg cm^{-2}**
7 dias	190	± 26	—
28 dias	236	± 26	340

O betão tinha sido prèviamente estudado no laboratório, tendo sido fornecida a sua composição para o estaleiro. Na última coluna do quadro XII estão indicadas as características do betão estudado no laboratório.

Como se vê, os resultados que apresentam maior diferença são a dosagem de água (no estaleiro usaram-se mais 25 litros de água por metro cúbico do que os necessários) e nas tensões de rotura (o betão de laboratório apresentava uma resistência superior de 104 kg cm^{-2} à tensão de rotura média do betão fabricado no estaleiro).

O coeficiente de variação de 26 % é largamente superior ao que apresenta qualquer betão cuja fabricação é controlada (quadro VII).

Nos 51 ensaios de cubos efectuados a 28 dias verificou-se que apenas 6 cubos (12 %) apresentavam tensões de rotura superiores a 340 kg cm^{-2} (tensão de rotura média a esperar para este betão), e outros 6 cubos apresentavam tensões de rotura inferiores a 180 kg cm^{-2}, que é o valor mínimo prescrito pelo Regulamento Português do Betão Armado.

A dosagem de cimento das amostras analisadas variou entre 197 kg m^{-3} e 300 kg m^{-3}, e a dosagem de água, entre 163 l m^{-3} e 194 l m^{-3}.

21.2. Caso do estaleiro B. — Num outro caso a betonagem duma certa estrutura, também de betão armado, levou cerca de 1 mês, e, durante esse intervalo de tempo, foram colhidos 42 cubos.

Os resultados foram:

Tensão de rotura média a 28 dias: 203 kg cm^{-2}
Coeficiente de variação: ± 22 %

O betão foi também prèviamente estudado no laboratório e obteve-se para tensão média de rotura o valor de 305 kg cm^{-2}, isto é, mais 102 kg cm^{-2} do que a tensão média do betão fabricado no estaleiro.

Neste caso só dois cubos (5 %) apresentaram tensões de rotura superiores a 305 kg cm^{-2} e 13 cubos (31 %) deram tensões inferiores aos 180 kg cm^{-2} regulamentares.

Estes resultados estão pois de acordo com a classificação apresentada na tabela do quadro VII: *o coeficiente de variação do betão fabricado sem controle é sempre superior a 18 %.*

22. Considerações sobre os resultados referidos nos parágrafos anteriores. – Os resultados que acabam de ser referidos no § 21 mostram bem como é ilusório fazer um estudo prévio do betão no laboratório, se depois se não for capaz de manter a sua composição no estaleiro.

Efectivamente, de nada serve apresentar uma composição óptima dum betão a um estaleiro, ou exigir a esse estaleiro um valor mínimo para as tensões de rotura, se se não tomarem medidas para assegurar a constância da composição do betão dentro de limites razoáveis.

Por exemplo, se se exigir uma tensão mínima de 300 kg cm^{-2} a um betão, e se se fabricar esse betão sem controle, isto é, com um coeficiente de variação de 25 %, a fig. 9 mostra que

as tensões de rotura de tal betão terão de variar entre 300 kg cm^{-2} e 1136 kg cm^{-2}, no caso de se tolerar apenas 1 % de tensões de rotura inferiores ao valor mínimo. Se o coeficiente de variação for de 20 %, as tensões de rotura terão de variar entre 300 kg cm^{-2} e 824 kg cm^{-2}, na mesma hipótese.

Dada a impossibilidade de se atingirem correntemente tensões de rotura superiores a 800 kg cm^{-2} ou 900 kg cm^{-2}, é evidente que o limite mínimo tem de ser substancialmente abaixado, e é impossível, sem diminuir o coeficiente de variação, isto é, sem controle, fabricar betões com uma tensão mínima tão elevada.

CONCLUSÕES

1. Estudo preliminar do betão no estaleiro. — Antes de começar a fabricação do betão no estaleiro deve-se proceder ao estudo das propriedades do betão que são chamadas a intervir na função que a obra desempenha.

Tais propriedades dependem dos inertes, do cimento e da água de amassadura. Por isso há necessidade de sujeitar os inertes (§ 2.3), a água de amassadura (§ 4.1) e o cimento (§ 5) a determinados ensaios.

Em seguida deve determinar-se a composição do betão, tendo em conta os inertes de que se dispõe no estaleiro.

Numa publicação anterior [12] foi já descrito o modo de proceder para tal fim. As características da peça a betonar devem ser tidas em conta para o cálculo da composição do betão. Deste modo, quando houver necessidade de variar a composição do betão colocado numa dada estrutura — isto é, quando haja necessidade de variar a máxima dimensão do inerte e a curva granulométrica de referência (§ 3.2 e § 3.3) em virtude de variações na forma e dimensão das peças a betonar e da disposição e densidade das suas armaduras — devem variar-se as dosagens de cimento do betão de acordo com as expressões (2) e (3) do § 3.3, com o fim de manter a homogeneidade do betão rigorosamente constante.

Um estaleiro bem organizado deve ter a elasticidade suficiente para poder proceder à fabricação de mais de um tipo de betão.

2. Fabricação do betão com o respectivo controle. — Uma vez estudada a composição do betão é necessário assegurar, no estaleiro, os meios necessários para a manter rigorosamente constante e igual à que se estudou prèviamente.

Para isso é necessário determinar, durante a fabricação, as características granulométricas dos inertes e fazer uma adaptação e correcção contínua destas à composição que foi prèviamente determinada.

Antes da entrada dos materiais na betoneira é necessário então proceder às seguintes determinações: granulometria dos inertes (§ 8), sua humidade (§ 9), verificação do seu peso (§ 11.1), determinação da baridade e correcção do seu volume (§ 11.2) e, finalmente, medição da água de amassadura (§ 10).

O controle da água de amassadura, o mais importante de todos, pois é este componente o responsável pela maior parte da variabilidade das características do betão, pode ser feito também a partir dos resultados obtidos na análise do betão fresco ou na medição da trabalhabilidade (§ 13 e § 14).

Na determinação das características do produto fabricado medem-se certas propriedades deste, e avalia-se o grau de homogeneidade do betão a partir da determinação de certas grandezas estatísticas, em geral da dispersão da tensão de rotura. Mesmo que o betão não desempenhe na estrutura papel resistente, é em geral a esta propriedade que se recorre para medir a sua variabilidade (§ 15).

Existe uma relação bem definida entre o grau de homogeneidade do betão e o modo como ele é fabricado. A tabela indicada no quadro VII fornece tal relação (§ 17.3).

O betão que é fabricado sem se exercer qualquer controle, isto é, em que a fabricação é deixada ao critério dos operários, apresenta coeficientes de variação superiores a 18 %, e afastamentos em relação a uma dada composição pré-determinada que podem até exceder 30 % no caso das dosagens do cimento e da água (§ 21.1).

3. Regras a observar para manter o betão com um dado grau de homogeneidade. — São as seguintes as regras que devem ser observadas para manter constante a composição do betão:

a) — A armazenagem dos inertes, que devem estar convenientemente separados, deve fazer-se por fracções que variem segundo uma progressão geométrica de razão 0,5 (§ 2.5).

b) — Os inertes devem ser utilizados pelo menos 16 a 24 hóras depois de armazenados nos silos que servem a betoneira, com o fim de garantir a uniformidade na sua humidade. Não se devem portanto empregar os inertes à medida que saem da lavagem (§ 2.5 e § 9).

c) — A granulometria total do betão deve ser mantida constante (§ 8). Dois casos se podem então dar:

1) — Quando os inertes mantêm constante a sua proveniência, a correcção da granulometria do conjunto pode ser assegurada por meio de correcções parciais dos inertes tomados dois a dois, de modo que a sua mistura mantenha o módulo de finura constante e igual ao do troço da curva de referência que corresponde a esses materiais.

Variações no módulo de finura inferiores a $\pm$ 0,20 em torno do valor médio, normalmente, não causam grandes perturbações na qualidade do betão.

2) — Se, no entanto, a granulometria dos inertes variar entre limites muito largos, e, em particular, *se houver variação na origem dos inertes*, é necessário tornar a calcular a granulometria do betão, adaptando-a à curva de referência. É claro que a tais cálculos se não pode proceder com a frequência com que se fazem os ajustamentos por meio do módulo de finura, *e portanto há toda a vantagem em conservar constantes as origens dos inertes.*

d) — A dosagem da água de amassadura deve ser mantida constante, com um erro de $\pm$ 1 % (§ 4.2 e § 10). Para isso os dispositivos de medida da água da betoneira devem ter esta precisão, e a humidade dos inertes deve ser determinada de modo a atingir este erro no valor total da água. Basta que a precisão da medição da humidade dos inertes seja da ordem de $\pm$ 5 % (em relação ao valor médio da humidade), o que é fácil conseguir em qualquer estaleiro (§ 9).

e) — A dosagem dos inertes deve ser mantida constante, com uma precisão de $\pm$ 2 %. *A maior precisão é atingível com a medição dos inertes em peso* (§ 17.3) mas quando se procede a uma boa e cuidadosa medição em volume, com medidas estreitas e profundas, também se podem obter bons resultados. Neste caso é necessário fazer determinações sistemáticas da baridade dos inertes, em particular da areia (§ 11.2).

f) — A qualidade do cimento deve ser também mantida constante, recebendo-o duma só fábrica convenientemente controlada.

g) — Todo o pessoal que toma parte na fabricação e colocação do betão deve estar animado dum espírito de compreensão e de cooperação que são absolutamente necessários quando se pretende fazer um betão com características uniformes.

4. Vantagens do controle do betão. — Quando se exige ao betão uma *tensão mínima de rotura, função da tensão de segurança máxima na estrutura e do coeficiente de segurança respectivo*, verifica-se a impossibilidade de atingir tal fim sem se proceder a uma correcção contínua da fabricação do betão, tendo em conta os parâmetros que afectam a sua qualidade.

Por outro lado, a manutenção da constância das características do betão tem a vantagem de tornar mais económico o betão fabricado: uma dada tensão mínima pode ser obtida à custa dum valor médio elevado e duma dispersão elevada ou à custa duma dispersão pequena e portanto dum valor médio mais baixo (fig. 9). É então evidente que a dosagem de cimento é necessàriamente mais baixa do que no primeiro caso.

Para dar uma ideia da ordem de grandeza da diminuição da dosagem de cimento, basta dizer que, nos casos normais do betão de 300 kg m^{-3}, que a 28 dias apresenta tensões de rotura médias de 300 kg cm^{-2}, a um abaixamento de 50 kg cm^{-2} na tensão de rotura média, corresponde «grosso modo» um abaixamento na dosagem de cimento de 50 kg m^{-3} (isto é, de 16,7 %).

O controle da fabricação do betão apresenta ainda a vantagem de aumentar a durabilidade, não só nas estruturas de betão armado, mas também nas estruturas de betão em massa. De facto, aumentando a uniformidade do betão diminuem os pontos fracos, de compacidade inferior à do restante, pontos que dão lugar à passagem da água ou doutros elementos agressivos capazes de corroerem o betão e as armaduras.

Num dos mais antigos e importantes trabalhos de betão onde foram aplicados estes princípios, o aeroporto de Londres, terminado em 1946, os métodos de controle lá empregados conduziram a uma economia de 20 % no cimento que os

construtores projectavam empregar, para satisfazer à resistência exigida. [39]

Noutro caso, referido por Sparkes [40], a simples transformação duma instalação de medição dos inertes em volume numa instalação de medição em peso tornou possível fazer uma redução de 12,5 % na dosagem de cimento. Ainda, num outro caso, em que num caderno de encargos se deixava ao critério do construtor a medição dos inertes em peso ou em volume, a adopção de um ou de outro tipo de medição significava gastar mais ou menos 100 kg de cimento por metro cúbico de betão.

Por aqui se pode avaliar o interesse que apresenta para os construtores o controle do betão.

APÊNDICE

Material necessário para o controle da fabricação do betão

a) — Série de peneiros, por exemplo: série A. S. T. M., com as aberturas de 3", 1" ½, 3 4", 3/8", n.º 4, n.º 8, n.º 16, n.º 30, n.º 50, n.º 100 e n.º 200.

b) — Balança com 20 kg de alcance e 1 g de sensibilidade.

c) — Aparelhagem para a medição da humidade dos inertes. Qualquer da aparelhagem referida no § 9, ou uma chapa metálica sob a qual se possa fazer fogo.

d) — Medida para a determinação da baridade dos inertes se a dosagem deles se faz em volume. Balança para pesar até 50 kg a 100 kg, com uma precisão de cerca de 50 gramas. Ver Especificação do L. N. E. C., E-3,1952.

e) — Tabelas, ábacos ou fórmulas simples que permitam aos operários mudar a composição dos inertes e corrigir a água de amassadura sem necessidade da intervenção dum engenheiro, ou de qualquer elemento técnico superior.

Material necessário para a determinação do grau de homogeneidade do betão

a) — Moldes para a confecção dos provetes de ensaio, cubos ou prismas, conforme se desejar fazer ensaios de compressão ou de flexão.

b) — Aparelhagem para a medição da trabalhabilidade do betão. O melhor é o aparelho Vêbê (§ 14) ou o do factor de compacidade. O cone de Abrams, a mesa de espalhamento ou outros aparelhos semelhantes não dão indicações com a precisão necessária.

c) — Prensa para ensaio dos cubos em compressão, pelo menos de 200 t ou 300 t, ou máquina para ensaios de flexão.

d) — Muitas vezes, para esclarecer certos resultados obtidos nas amassaduras feitas na instalação do estaleiro é muito cómodo poder amassar pequenos volumes de betão em que as quantidades dos inertes, do cimento e da água são determinados com uma precisão de laboratório. Por isso é sempre bom possuir no laboratório do estaleiro uma pequena betoneira, na qual se possam fazer amassaduras de pequenos volumes de betão, de cerca de 50 litros, por exemplo.

Custo aproximado deste material

O custo do material indicado para o controle do fabrico do betão não excede uma dezena de milhar de escudos, notando que, para a medição da baridade dos inertes, muitas vezes, uma boa balança decimal é suficiente.

Da aparelhagem para medir a trabalhabilidade, o aparelho Vêbê é o mais caro de todos os que medem esta propriedade do betão, mas o seu custo é inferior a uma dezena de milhar de escudos.

Quanto à determinação do grau de homogeneidade do betão por meio de ensaios de resistência deve notar-se que o preço de um molde para 3 cubos de 20 cm de aresta é sensìvelmente igual ao preço de um molde para duas vigas, com 15 × 15 × 55 cm, estando compreendido entre 3 e 5 milhares de escudos.

A prensa é, evidentemente, a peça mais cara de todos os acessórios para a determinação do grau de homogeneidade, mas pode ser dispensada se for mais económico mandar os provetes para ensaiar num laboratório central. No entanto já hoje se podem conseguir boas prensas para estaleiro por um número dígido de dezenas de milhares de escudos.

Uma máquina para ensaios de flexão pode custar metade ou um terço da prensa.

O assunto deste artigo constituiu o tema de duas palestras realizadas, uma em Lourenço Marques e outra na Beira, em Novembro de 1959, a convite do Laboratório de Ensaio de Materiais e de Mecânica do Solo, da Província de Moçambique.

DKM 2 — O taqueómetro de triangulação de círculo duplo (leitura directa 1 seg.) com múltiplas possibilidades de emprego: Triangulação II.-IV. ordem. Poligonação de precisão. Medição de distâncias por mira de base de invar ou por equipamento de dupla imagem. Observações astronómicas.
Óculo de grande alcance com 30 × de aumento e abertura de 45 mm.
O mais moderno sistema de eixos e de horizontalidade e aperfeiçoada construção do estativo. Operação de centragem muito simples com o novo tripé automático.
Peça o prospecto descritivo.

Kern SWISS

KERN — Instrumentos geodésicos de fama mundial pela perfeição técnica e precisão.

REPRESENTANTES PARA PORTUGAL:

EMÍLIO DE AZEVEDO CAMPOS & C.ª, L.DA

RUA DE SANTO ANTÓNIO, 137-145 — PORTO — TEL. 20254/5
RUA ANTERO DE QUENTAL, 17-1.º — LISBOA — TEL. 53366

Técnica de Hidráulica e de Electricidade, Ld.ª

HIDRÁULICA
ELECTRICIDADE
MECÂNICA
AQUECIMENTO

Oficinas metalo-mecânicas

ASSISTENCIA-TECNICA

Escritório e Stand de vendas:

47-A, Rua do Alecrim, 47-B Telefs. 2 57 00 / 3 59 66

Oficinas:

Rua do Lumiar, 113 Telef. 79 03 55

LISBOA

BOMBAS

Se há um problema de bombas consulte

VASCO PESSOA, LDA.

Rua da Boa Vista, 63 — LISBOA

ELECTROTÉCNICOS REUNIDOS (LUANDA) LDA.

LUANDA

INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

ADJUDICATÁRIOS:

Subestações de 30/20 KV no Lobito e em Benguela da Companhia Eléctrica do Lobito e Benguela

BIBLIOGRAFIA

(1) A. Hummel, *Prontuário del Hormigón,* Ed. Palestra, Barcelona.

(2) H. A. La Rue, «Modulus of elasticity of aggregates and its effect on concrete», *Proc. Am. Soc. Test. Mat.,* vol. 46, 1946, p. 1298.

(3) H. C. Erntroy and B. W. Shacklok, «Design of high-strength concrete mixes», *Proc. of a symposium on mix design and quality control of concrete,* Cem. and Conc. Assoc., London, May 1954.

(4) G. E. Troxell and Harmer E. Davis, *Composition and Properties of Concrete,* Ed. Mc Graw-Hill Book Company Inc., 1956.

(5) J. Farran, «Contribution minéralogique à l'étude de l'adhérence entre les constituants hydratés des ciments et les matériaux enrobés», *Rev. Mat. Const.,* n.º 490, 491 e 492, Julho, Agosto e Set. 1956.

(6) Hansen, *J. Am. Conc. Inst.,* vol. 40, 1944, p. 213.

(7) T. Stanton, «Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate». *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.,* Dez. 1940, vol. 66, n.º 10. p. 1781.

(8) A. de Sousa Coutinho, «Pozolanas, betões com pozolanas e cimentos pozolânicos», cap. 11, *Técnica,* n.º 283, Julho 1958, p. 702.

(9) «Agrégats pour bétons de construction», N. F. — P 18-301. «Concrete aggregates from natural sources», B. S. 882, 1201: 1954. «Standard Specifications for concrete aggregates», ASTM Designation C 33-57. Normas DIN 1045, § 5, n.º 4 e Normas DIN 4226.

(10) R. C. Mielenz, «Petrographic examination of concrete aggregates», *Proc. Am. Soc. Test. Mat.* vol. 54, 1954, p. 1188.

(11) Faury, «Le béton», Ed. Dunod, Paris 1958.

(12) A. de Sousa Coutinho, «Estudo e controle do betão no estaleiro», *Técnica,* n.º 250, Março de 1955, p. 327.

(13) Bolomey, «Granulation et prévision de la résistance probable des bétons», *Travaux,* Junho 1935.

(14) Tabelas Técnicas, Ed. «Técnica», I. S. T., Lisboa 1956, p. 203.

(15) Road Research Laboratory, «Design of concrete mixes», 2 nd. Ed., London, H. M. S. O., Road Research Note n.º 4, 1950.

(16) «Caderno de encargos para o fornecimento e recepção do cimento portland normal», Dec. 40 870, *Diário do Governo,* I série, n.º 254.

(17) Kirkham and Higgins, «Control methods for measuring the moisture in concrete aggregates», *Civil Eng. and Publ. Works Rev.,* vol. 50, n.º 593.

(18) «El frasco de Chapman — Su utilization para determinar constantes físicas en los agregados finos» — *Cemento portland* — Rev. del Inst. Cem. Portland Argent, Nov. 1944, p. 8.

(19) British Standard Institution, B. S. 812: 1951. «Sampling and testing of mineral aggregates, sands and fillers».

(20) R. H. H. Kirkham, «A buoyancy meter for rapidly estimating the moisture content of concrete aggregates», *Civil Engineering and Public Works Review,* vol. 50, n.º 591, Set. 1955, p. 979.

(21) «Determinação do teor de humidade de uma areia por meio do hidrómetro de Crosby», *Bautenschutz,* 1941, fasc. 8.

(22) «Evaluation of electric meters for determining moisture content of fine aggregate,» *U. S. Army Engineers Waterways Exp. St.,* Tech. Rep. N.º 6-476, Março 1958.

(23) «Recommended practice for measuring, mixing and placing concrete», Report of ACI Commitee 614, *Proc. Am. Conc. Inst.,* vol. 41, (1945), p. 625.

(24) Murdock, «Concrete materials and practice», 1 st. edition, London, *Ed. Arnold,* 1948.

(25) W. M. Dunagan, «A method of determining the constituents of fresh concrete», *Proc. Am. Conc. Inst*, vol. 26, 1930, p. 202.

(26) Joisel, «L'Homogéneité du béton et les bétonnières», *Ann. Inst. Tech. Bat. Trav. Publ.,* n.º 69, Março-Abril 1949, e n.º 169, Jan. 1951.

(27) «Proposed method for analysing fresh mortar», *ASTM Bul.,* n.º 154, Out. 1948, p. 21.

(28) «Proposed tentative method of test for cement content of freshly mixed concrete», *ASTM Bul.,* n.º 239, Julho 1959, p. 48.

(29) W. G. Hime and R. A. Willis, «A method for the determination of the cement content of plastic concrete», *ASTM Bul.,* n.º 209, Out. 1955, p. 37.

(30) Glanville, Collins, Matthews, «The grading of aggregates and workability of concrete», *Road Res. Tech. Pap.,* n.º 5, Londres, H. M. S. O., 1947.

(31) Powers, «The workability of concrete», *Report on significance of tests of concrete and concrete aggregates,* Ed. Am. Soc. Test. Mat., Phil., 1943.

(32) R. L'Hermite et G. Tournon, «La vibration du béton frais», *Ann. Inst. Tech. Bat. Trav. Pub.,* n.º 11, Fev. 1948.

(33) Faury, «Etudes entreprises sur la plasticité de mise en oeuvre du béton, en construction de béton armé. Influence des principaux facteurs en jeu», *An. Inst. Tech. Bat. Trav. Pub.,* 2.º Ano, n.º 4, 1937, p. 3.

(34) «Recommended practice and standards specifications for concrete and reinforced concrete», Report of the Joint Committee on Standard Specifications for Concrete and Reinforced Concrete, Ed. A.S.T.M., Dez. 1949, Sec. 312-S, p. 112.

(35) DIN 1045, Parte A, § 6, n.º 3.

(36) L. Vironnaud, «Quelques applications du controle statistique aux chantiers de bâtiment», *An. Inst. Tech. Bat. Trav. Pub.*, 8.º Ano, n.º 93, Set. 1955, Série Questions Générales, n.º 28.

(37) Stanton Walker, «Application of theory of probability to design of concrete for strength specifications», *Rock Products*, vol. 47, n.º 3, Março 1944, p. 70.

(38) Neville, «The relation between standard deviation and mean strength of concrete test cubes», *Magazine of Concrete Research*, vol. 11, n.º 32, Julho 1959, p. 75.

(39) Graham and Martin, «The construction of high-grade quality concrete paving for modern transport aircraft», *J. Inst. Civil Eng.*, vol. 26, n.º 6, Abril 1946, p. 117.

(40) Sparkes, «The control of concrete quality: a review of the present position», *Proc. of a symposium on mix design and quality control of concrete*, Cem. and Conc. Association, London, May 1954.

(41) J. S. Brasão Farinha, «Elementos-base dos cálculos de estabilidade das estruturas do Metropolitano de Lisboa», *Revista da Ordem dos Engenheiros*, Ano IX, n.º 95 e 96, Nov. e Dez. 1951.

SUMMARY

In this paper rules to be complied with in the mixing of concrete with different degrees of control are set forth.

The methods in use for selection of the aggregate (table I) and for designing the concrete taking into account the characteristics of the member to be cast are described in the first chapter. This is a development of a previous paper published years ago [12]. The rules to be followed for storing and washing the aggregate and for choosing the mixing water are also set forth in this chapter.

In the second chapter, the operations that should be taken into account for ensuring concrete mixing with a uniform composition are described, viz:

a) — Determination of the grading of each aggregate and control of the constancy of the total aggregate grading, by means of adequate computations (§ 8).

b) — Indication of the accuracy with which the different concrete components, aggregate, cement and water, should be measured (§§ 10, 11 and 12 and table IV).

c) — Determination of the moisture content of the aggregate (§ 9), which should be deducted from the total volume of mixing water.

The third chapter deals with the methods for determination of the homogeneity of concrete: analysis of fresh concrete (§ 13), systematic measurement of the workability of concrete (§ 14) with a discussion of the most adequate methods as regards sensitivity to changes in the proportion of water (fig. 8) and finally the systematic determination of the ultimate strength (§ 17).

The quality of the concrete is determined from the scattering observed in its properties mentioned above. The degree of homogeneity with which concrete can be prepared is indicated in table VII in function of the organization of the site where the concrete is batched. [39] [40]

In the fourth and last chapter, some examples are described of Portuguese sites where the principles presented were applied.

At one of these sites (Arrábida Bridge, § 18) a high-strength concrete (mean ultimate strength of about 600 kg cm^{-2}) is prepared with a high degree of homogeneity (coefficients of variation ranging from $\pm$ 7 to $\pm$ 10 %). At another site, for the extension works of the wharf in Funchal harbour, concretes were manufactured with an accuracy of about $\pm$ 12 %, the aggregate being batched by weight.

The preparation of concrete in a site where the aggregate was measured in volume is then described. This concrete, for the first stage of the Lisbon Underground Railway (§ 20), was manufactured (1956) with coefficients of variation from $\pm$ 14 to $\pm$ 18 % (table X and fig. 22).

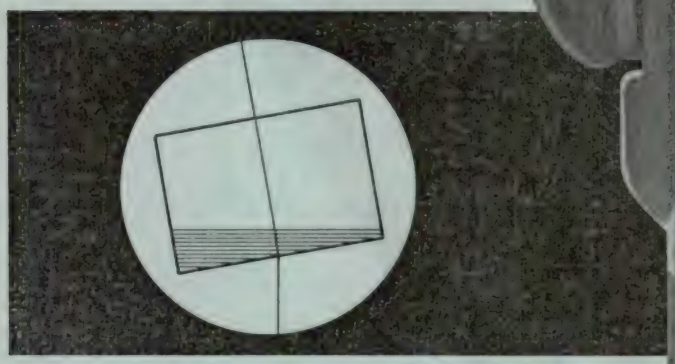
Finally cases are presented in which the concrete is batched without control: the coefficients of variation amount then to $\pm$ 26 % (§ 21.1) and $\pm$ 22 % (§ 21.2). The mean ultimate strength is 30 % lower than that which could be obtained in an adequately manufactured concrete and the minimum rupture stresses observed are lower than the minimum permissible stresses set forth in the Portuguese Reinforced Concrete Specifications.

O NOVO TEODOLITO

Wild T 1-A

com calagem
zenital automática

O teodolito com os aperfeiçoamentos mais modernos, permitindo medições mais fáceis, rápidas e mais exactas



Automatismo duma concepção surpreendentemente simples: Prisma com líquido sem partes mecânicas, sem desgaste, sem desarranjos sem reparações.

Detalhes no prospecto Th 154

WILD
HEERBRUGG

Solicitem catálogo ou demonstração ao representante exclusivo:

WILD PORTUGAL, L.DA

LISBOA — PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8, S/L 6 — Tel. 68 1127

AÇO TOR

O AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA
PARA BETÃO ARMADO COM
MAIOR VENDA NO MUNDO

TENSÃO DE SEGURANÇA 2 400 Kg/cm²
SEM GANCHOS

Especifique
AÇO TOR
com o símbolo

SOABAL – SOCIEDADE DE AÇOS PARA BETÃO ARMADO, LDA.
RUA JOAQUIM BONIFÁCIO, 2, 1.º — TELEF. 4 05 66 — LISBOA

C. D. U. 627.765.001.5 — 349.5

NOTA SOBRE A FLUTUAÇÃO DOS MINÉRIOS DE URÂNIO

POR RAMACHONDRA ANANTA NAIQUE
Eng.º de Minas (I. S. T.)
Bolseiro do I. A. C. para C. E. E. N.

1 — INTRODUÇÃO

Dentro dos quadros da Comissão de Estudos da Energia Nuclear e integrado no Centro de Mineralogia e Geologia, funciona o Laboratório de Preparação de Minérios [1]. Entre as suas diversas actividades, este laboratório tem-se preocupado fundamentalmente com o estudo da concentração física dos minérios de Urânio da Metrópole. A técnica da flutuação, como não podia deixar de ser, mereceu a devida atenção e realizaram-se numerosos ensaios laboratoriais.

Conquanto os trabalhos publicados por diversos investigadores não permitam estabelecer regras gerais de aplicação do processo, resolvemos referí-los, conjuntamente com os últimos resultados obtidos neste Laboratório, para apreciação das dificuldades em toda a parte encontradas.

Porém, dada a reduzida bibliografia sobre este assunto em língua portuguesa, começaremos por recordar as ideias gerais relativas à flutuação, sem termos a pretensão de apresentar qualquer assunto original.

2 — FLUTUAÇÃO

2.1 — *Generalidades*

A flutuação é um processo de concentração física destinado a separar minérios em geral finamente moídos, em dois produtos — o *flutuado* e o *afundado*. Um destes constitui o concentrado e o outro é o estéril. Quando o flutuado constitui o concentrado, diz-se que o processo é normal ou de *flutuação directa*. No caso contrário, trata-se da *flutuação inversa*.

O fundamento da separação reside na adesão selectiva, relativamente à água — *molhabilidade* — de certas espécies minerais e a adesão simultânea de outras ao ar ou a *óleos*. O «grau de adesão» pode ser alterado pelo tratamento prévio com reagentes apropriados, e é nisto que assenta a justificação do vasto campo de aplicação prática que a flutuação tem conquistado.

Na concentração de qualquer minério, o primeiro passo reside na fragmentação até ao tamanho em que cada partícula é constituída, tanto quanto possível, ou só por espécie útil ou só por ganga. Isto consiste a chamada *individualização*. Como é óbvio, o controlo da *individualização* exige um conhecimento perfeito da composição petrográfica, mineralógica e da textura do minério a concentrar. O conhecimento da génese do jazigo é indispensável para que qualquer estudo das características acima referidas, feito sobre amostras do minério, seja válido para a totalidade.

Numerosos minérios metálicos requerem uma moagem fina para atingir razoável grau de individualização. A concentração física destes consistirá pois na separação de partículas de calibres finos, o que torna impraticável a aplicação dos processos gravíticos clássicos. É neste domínio que surge o processo de concentração por flutuação, que por evoluções sucessivas, se tornou aplicável a quase todos os minerais. A aceitação e a rápida expansão deste processo, contribuiu sem dúvida, para o grande desenvolvimento que a Preparação de Minérios tem atingido nos últimos 40 anos.

2.2 — *Processos de flutuação*

Havre [2] considera as seguintes nove modalidades de flutuação:

A — Flutuação sem agitação à superfície («skin flotation»).
B — Flutuação sob pressão («pressure flotation»).
C — Flutuação sobre mesas («film flotation»).
D — Flutuação em óleo («bulk-oil flotation» ou «oil-buoyancy flotation»).
E — Flutuação com agitação ou flutuação em espumas («froth flotation»).
F — Flutuação química («chemical flotation»).
G — Flutuação por calcinações fraccionadas prévias.

H — Flutuação por segregação («segregation process»).
I — Flutuação a seco («picking process»).

Sob o ponto de vista prático, podemos agrupar estas 9 modalidades em 4 tipos:

— Flutuação fílmica (englobando A, B, C).
— Flutuação em óleo (só a modalidade D).
— Flutuação em espumas (englobando E, F, G, H).
— Flutuação a seco (só a modalidade I).

Na flutuação fílmica, a separação opera-se na interfase ar-água, onde as partículas são retidas formando camada com a espessura duma única partícula. Na segunda modalidade, as partículas são retidas numa camada de óleo ou na superfície da separação desta camada e da água. Na flutuação com espumas, são estas que conduzem até à superfície as partículas que lhes aderem, formando assim, um leito de espumas mineralizadas flutuando sobre a polpa. Na flutuação a seco, o meio de separação consiste numa camada de «betume» a que se colam as partículas de determinados minerais (fosfatos) em oposição às de outros.

A flutuação com espumas é de todas as modalidades a única que tem mantido larga expanção industrial, e actualmente o termo *flutuação* é universalmente empregado para designar este tipo.

2.3 — *Descrição sumária do processo de flutuação*

O minério finamente moído (em geral de calibre inferior a 0,3 mm) e formando uma polpa, é introduzido num *condicionador*, onde se lhe juntam os reagentes apropriados à preparação das superfícies das partículas minerais, de modo a garantir a separação baseada na selectividade da adesão ao ar ou à água.

Após o tempo necessário para o contacto da polpa com os reagentes — *tempo de condicionamento* — transfere-se aquela para as células de flutuação. Aí é introduzido ar, de modo a circular através a polpa, formando bolhas a que aderem determinados minerais, que são retirados da célula juntamente com aqueles que se acumulam na parte superior da polpa, formando espumas mais ou menos estáveis.

Há várias teorias que pretendem explicar a flutuação. No entanto nenhuma delas é total e universalmente aceite. Segundo Petersen [3] todas elas cometem o erro de pretenderem explicar tudo quanto ocorre na flutuação pelo estudo duma única categoria de fenómenos.

A adesão selectiva das partículas minerais, quer às bolhas de ar quer à água, é o fenómeno básico e constitui o fulcro de todo o processo. Descobriu-se que a adesão ao ar preferencialmente à água é uma propriedade peculiar dos grupos de átomos dos compostos carbonados, quer façam parte do próprio mineral, quer do revestimento da sua superfície. É na preparação adequada das superfícies das partículas minerais que reside o essencial deste método de concentração.

2.4 — *Reagentes de flutuação. Sua classificação*

A importância dos reagentes químicos na flutuação é manifesta, e o conhecimento perfeito destes é a condição *sine qua non* de qualquer controlo da operação.

Sem distinguir entre primários e secundários, consideraremos como Havre [2], oito categorias de reagentes da flutuação.

— *Colectores, promotores* ou *aglomerantes* — destinados a unir as bolhas de ar às partículas minerais a flutuar, e provocar o seu enriquecimento na espuma.

— *Espumantes* ou *espumadores* — adicionados para tornar a espuma estável e elástica.

— *Depressores, imersões* ou *inibidores* — agentes que impedem a flutuação de certos minerais de modo temporário ou permanente, não permitindo a sua ascenção na polpa e não agindo sobre os minerais a flutuar.

— *Revivificadores* — capazes de restabelecer as propriedades de flutuabilidade de espécies minerais que tenham sido deprimidas.

— *Activadores* — substâncias adicionais que facilitam ou activam a flutuação de certos minerais, já sob a acção dos colectores.

— *Desactivadores* — com acção desactivante, isto é, no sentido inverso da dos activadores.

— *Molhantes* — destinados a molhar as gangas.

— *Anti-tóxicos* ou *contra venenos* — reagentes que têm por finalidade neutralizar a acção dos chamados *venenos de flutuação*, que são os sais prejudiciais à flutuação, existentes nas águas ou minérios.

Os reagentes das duas primeiras categorias são

essencialmente orgânicos e foram os únicos a serem usados no princípio da aplicação do processo. Actualmente o número de reagentes é bastante considerável (da ordem de alguns milhares), e são contínuos os esforços no sentido de estudar o comportamento de novas substâncias em face de vários aspectos da flutuação, havendo já laboratórios especializados neste sector da indústria química [4].

2.5 — *Operações unitárias do processo*

A aplicação da flutuação a qualquer minério envolve além da britagem, moagem e classificação, prévias as seguintes operações:

— homogeneização e condicionamento da polpa

— flutuação pròpriamente dita

— decantação, espessamento, filtragem e secagem dos concentrados.

Nos ensaios laboratoriais também se torna necessário realizar estas três últimas operações com os estéreis, para um controlo eficaz de todo o processo.

É necessário realizar a homogeneização da polpa, com o fim de manter uma determinada diluição e permitir mistura perfeita com os reagentes adicionados. Com o condicionamento pretende se obter completa dispersão dos reagentes através da polpa e assegurar que todas as partículas minerais os contactem o tempo suficiciente. Acabado o condicionamento, começa a flutuação pròpriamente dita, sendo para isso necessária a presença das bolhas de ar que constituem o meio de separação e transporte, até à superfície, das partículas minerais a flutuar.

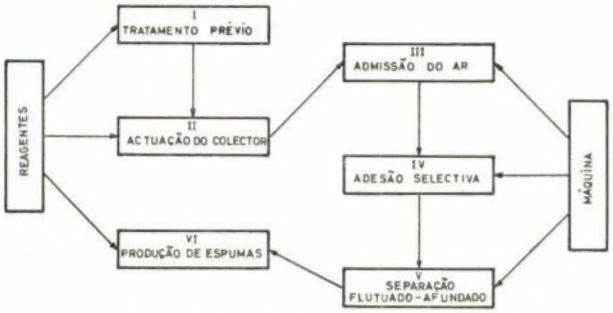
Taggart [5] apresenta uma análise interessante do processo da flutuação pròpriamente dita, desdobrando-o em seis operações unitárias, das quais considera três como resultantes da acção da máquina e outras três como sendo provocadas pelos reagentes (ver o diagrama I).

2.6 — *Factores que afectam a flutuação*

a) Calibre das partículas que constituem a polpa da alimentação — este factor é condicionado, primeiro pela individualização e, segundo pelo rendimento da operação. Tem se verificado, na flutuação industrial, que o calibre máximo das partículas se situa entre 0,3 e 0,5 mm, havendo sido obtida melhor recuperação em metal, melhor relação de concentração com polpas contendo partículas de calibres entre 100 e 10 microns. Por outro lado, quando os calibres se tornam inferiores a 10 microns, tanto a recuperação como a relação de concentração diminuem sensìvelmente [3].

b) Diluição da polpa — normalmente os valores

DIAGRAMA I



Operações unitárias de flutuação, segundo Taggart

da diluição da polpa na alimentação têm variado entre 2 : 1 e 5 : 1; contudo, ainda nada há em definitivo sobre este assunto [6]. Quanto menor é o valor da diluição, maior é a capacidade da máquina e consequentemente, menor é o consumo de água e também de reagentes, especialmente dos espumantes. Por outro lado, uma maior diluição permite flutuar partículas mais finas, produzindo espuma mais limpa.

c) Natureza da água e temperatura da polpa — interessa conhecer a composição química da água para verificar se contém qualquer sal depressor ou algum veneno da flutuação. Temperaturas elevadas facilitam o processo, em certos casos, reduzindo ao mesmo tempo o consumo de reagentes.

d) pH da polpa — a existência de mais ou menos hidrogeniões livres na polpa afecta muito a actuação do colector sobre determinado minério. É necessário pois fixar experimentalmente o valor de pH, para obter os melhores resultados.

e) *Natureza e quantidade dos reagentes* — como é óbvio, é necessário investigar por meio de ensaios experimentais, os aspectos qualitativo e quantitativo dos reagentes a empregar.

f) *Tempo de condicionamento* — é um dado essencial cujo valor só pode ser obtido com ensaios experimentais.

g) *Tempo de flutuação* — consiste no tempo necessário para que todas as partículas a flutuar se liguem às bolhas gasosas e possam ser captadas nas espumas. Este tempo varia com as carac-

terísticas de minério, tipo e volume das células de flutuação, diluição da polpa, reagentes utilizados, etc. O seu valor só poderá ser obtido por meio de ensaios experimentais.

2.7 — *Flutuação contínua e descontínua*

Pelo exposto, verifica-se imediatamente que a aplicação da técnica da flutuação à escala industrial exige, para cada caso, um estudo prévio à escala laboratorial. A extrapolação dos resultados laboratoriais para a escala industrial engloba certo risco e para o atenuar, após ensaios laboatoriais, recorre-se a instalações piloto, em que se trabalha realizando as condições industriais, embora em escala reduzida.

A diferença fundamental entre a escala laboratorial e a industrial está em que, na primeira se utilizam ensaios descontinuos, e na segunda se lida com operações contínuas. Na flutuação descontínua, a alimentação, constituída por polpa com determinadas características, é introduzida na máquina no início da operação e, durante a flutuação é retirada a espuma contendo o minério flutuado. Em cada instante, produz-se aumento da espuma á custa da polpa, que vai contìnuamente variando de composição em sólidos e de diluição, visto que é necessário introduzir água para manter o seu volume. No fim da operação, é retirado o resto da polpa, que constitui o afundado. Na flutuação contínua a alimentação nova com determinadas características é introduzida, em cada instante, na máquina, ao mesmo tempo que são obtidos dois produtos, o flutuado e o afundado.

3 — ENSAIOS LABORATORIAIS

Estes ensaios são realizados em células de flutuação de tamanho reduzido. As principais operações que é necessário efectuar nestes ensaios são :

a) *Preparação das amostras* — a partir dos lotes de minério recebidos da mina, preparam-se amostras de peso reduzido. Geralmente antes desta amostragem há necessidade de britar os lotes recebidos.

b) *Moagem da amostra do minério* — é realizada num moinho de bolas laboratorial, geralmente por via húmida. A moagem pode efectuar-se com o adicionamento de qualquer reagente, como, por exemplo, um depressor.

c) *Condicionamento da polpa* — é normalmente realizado na própria célula de flutuação, para o que se introduz nela a polpa obtida da moagem e se lhe junta água até prefazer o volume necessário. Em seguida adicionam-se os reagentes, tais como o colector, o activador, etc., e mantém-se a polpa em agitação durante o tempo necessário (tempo de condicionamento). Podem realizar-se vários condicionamentos durante o mesmo ensaio, para obter concentrados sucessivos.

d) *Flutuação* — é iniciada com a admissão do ar na célula ; simultâneamente faz-se a recolha da espuma mineralizada durante certo tempo (tempo da flutuação).

e) *Limpeza da célula* — acabada a recolha de espumas, é necessário limpar a célula para a obtenção do afundado.

f) *Decantação e filtragem dos produtos obtidos.*

g) *Secagem dos mesmos produtos.*

h) *Pesagem dos produtos secos.*

i) *Amostragem dos concentrados e do estéril.*

j) *Análise química dos produtos* para a determinação do teor nos elementos que se pretendam conhecer.

Com o conhecimento dos pesos e teores da alimentação, dos concentrados e do estéril, estabelece-se fàcilmente o balanço do ensaio calculando o *rendimento em peso* e a *recuperação em metal.*

Ensaios laboratoriais de flutuação realizados em condições idênticas sobre o mesmo minério e pelo mesmo operador conduzem a resultados, cuja dispersão é bastante apreciável. A precisão dos ensaios de flutuação é ainda muito mal conhecida, visto que não estão fixados os valores da dispersão dos resultados. O estudo dos factores responsáveis pela dispersão dos resultados, feito por Raffinot [7], mostrou que a própria célula laboratorial até agora usada, é a causa principal das variações sofridas pelos factores com maior influência na dispersão, o que o levou a ensaiar uma célula aperfeiçoada, munida de controlos mais eficazes e cujo estudo ainda está em curso.

4 — FLUTUAÇÃO DE MINÉRIOS DE URÂNIO

4.1 — *Generalidades*

É do conhecimento geral que na última década campanhas de prospecção sistemática foram levados a cabo em quase todos os países, de que re-

sultou uma rápida expansão da indústria do Urânio. Enquanto em 1948, a produção de minérios de Urânio no Mundo Ocidental estava confinada pràticamente a duas minas, uma no Congo e outra no Canadá, em 1958 o número de paises produtores já tinha ultrapassado uma dúzia.

Nos primeiros tempos, o tratamento dos minérios de Urânio realizou-se exclusivamente por via química; por meio de lixiviação directa obtinham-se uranatos, fosfatos de urânio, etc., donde se extraia o urânio metal por ulterior tratamento químico e metalúrgico. A própria evolução desta indústria, empenhada em fazer face à concorrência e orientada no sentido do aproveitamento de grandes reservas marginais, tem conduzido à utilização das técnicas de concentração física. Actualmente existem instalações desta natureza em alguns paises. O tratamento físico tem sido considerado como um meio de pré-concentração, cujo contributo à hidrometalurgia dos minérios de teores cada vez mais baixos, se traduz, quer na eliminação de espécies minerais prejudiciais à lixiviação (venenos de lixiviação), quer no aumento do teor da alimentação das instalações químicas.

4.2 — *Casos de aplicação da flutuação aos minérios de Urânio*

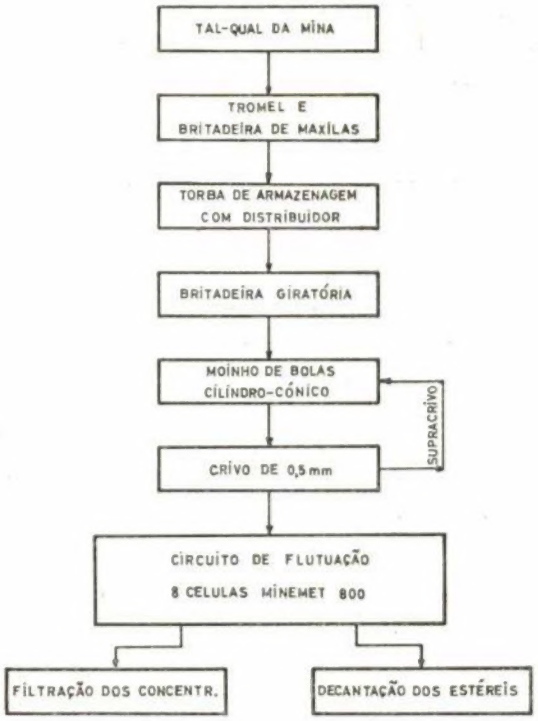
Desde há 13 anos, que, no Commissariat à l'Energie Atomique em França, se tem considerado a flutuação como processo de concentração de minérios de urânio. A sua aplicação, porém, conduzia a resultados muito variados.

A. Ginocchio [8] aplicou com sucesso o processo da flutuação a dois tipos de minérios da região de Lachaux, onde foi montada uma instalação industrial.

Um dos minérios tratados era essencialmente constituído pela Parsonsite (fosfato de urânio e chumbo), disseminada em ganga de quartzo e contendo 15 a 20 % de argila. Porque a Parsonsite é um mineral extremamente friável, moído o minério a menos de 0,5 mm, obtinha-se 60 % do metal na fracção inferior a 200 malhas e à volta de 20 % na fracção inferior a 15 microns. Os resultados medíocres (recuperações da ordem de 45 a 60 %) obtidos pelo tratamento gravimétrico, levaram ao estudo da flutuação na qual se chegou a resultados satisfatórios usando, como colector, uma solução do ácido oleico em álcool etílico.

A secção de flutuação da lavaria de Lachaux funcionou com este minério, desde Fevereiro de 1952 até Maio de 1954, segundo o esquema indicado no Diagrama II. Durante este período, obteve-se, em média, rendimento em metal de

DIAGRAMA II



Esquema de tratamento do minério com parsonsite na Lavaria de Lachaux

80 % (variando entre 60 a 90 %), com taxa de concentração média de 60 (com valores desde 40 a 130). O teor do minério tratado variou entre 0,02 a 0,2 % de U_3O_8; a percentagem de sólidos na polpa foi de 30 %, em peso, e o consumo médio da mistura colectora foi de 950 g/ton, das quais 500 g/ton de oleina, usando-se acessòriamente uma pequena quantidade de silicato de sódio como depressor da sílica.

O outro minério era mais ou menos complexo, constituído por uma mistura em proporções muito variáveis de Pecheblenda, Calcolite, Autunite, Uranófilo, Parsonsite e Pirite, numa ganga constituída por Quartzo, Feldspatos, Mica e Argilas. Para a flutuação deste minério usou-se, como colector, uma mistura ternária de ácido oleico, álcool etílico e «teepol». Com minérios de teores variando entre 0,01 a 0,1 % de U_3O_8, obteve-se rendimento médio de 70 % (variando entre 60

e 77 %) e taxa de concentração igual a 30. Usou-se polpa com 25 % de sólidos e o consumo de ácido oleico andou à volta de 1500 g/ton. Foi necessário manter o pH entre 6,4 e 7, o que se conseguiu adicionando carbonato de sódio em diversos pontos de circuito.

Para focar o interesse do tratamento por flutuação sob o ponto de vista económico, Ginocchio apresentava em 1955 os seguintes valores:

Processos	Investimentos	Preço de custo por tonelada tratada
Flutuação	100	100
Tratamento Alcalino.	100	250
Tratamento Ácido . .	300	400

Na lavaria de Forez, estudou-se a flutuação para o minério de Limouzat, constituído por Pecheblenda finamente disseminada no Quartzo calcedónico, contendo igualmente uma quantidode notável (à volta de 10 %) de argila [9]. Os ensais feitos na instalação piloto conduziram a um diagrama de tratamento com flutuação em dois andares. A flutuação primária realizada numa bateria de sete células em série, com alimentação constituída pela polpa resultante duma moagem a 150-180 microns e com 35 a 40 % de sólidos deu concentrados ricos com teores aproximadamente 3 vezes o do tal-qual e mistos pobres. Os reagentes empregados foram, o silicato de sódio, como depressor da sílica, e uma solução de oleina em álcool etílico, como mistura colectora, adicionando-se pequenas quantidades de «emulfor» como espumante. Os mistos pobres resultantes da flutuação primária, após moagem a 75 microns e com 20 % de sólidos, constituiram a alimentação da flutuação secundária, obtendo-se um estéril e um misto a enviar para o tratamento químico. Neste andar utilizou-se como colector, a mistura ternária constituída por oleina, álcool etílico e «teepol». Este diagrama de tratamento não tem sido utilizados à escala industrial.

A lavaria piloto de Bessines, que estuda o tratamento físico dos minérios de Urânio da Divisão de la Crouzille, também tem incluído nas suas instalações uma secção de flutuação, porém não há conhecimento de se ter servido deste processo para fins industriais [9].

Sob o patrocínio da Comissão da Energia Atómica dos Estados Unidos da América do Norte (U. S. Atomic Energy Comission), a «Colorado School of Mines Research Foundation» fez estudos com o fim de desenvolver um processo para a pré-concentração de minérios primários de Urânio de baixo teor.

Neste sentido realizaram-se ensaios de flutuação sobre o minério de Beaverlodge [11] que era constituido por Uraninite incrustada ou em finas camadas sobre grãos de Pirite, com alterações de Limonite, sobre Quartzo e sobre disseminação de Pirite e Quartzo. Num lote calibrado entre 100 e 200 malhas, encontrava-se pelo menos 90 % da Uraninite ligada a outros minerais. A moagem foi conduzida até obter um produto de calibre inferior a 150 malhas, mas, tanto quanto possível, superior a 13 micron. Como depressor de Quartzo e dos outros silicatos, usou-se o ácido fluorídrico ou ofluoreto de sódio, o que contribuiu para considerável aumento do teor do concentrado. Como colector, empregou-se a mistura constituida pela emulsão de ácido oleico, «fuel oil» n.º 2 e sulfonato de petróleo, em proporção de 3 : 3 : 1 (partes em peso). O valor do pH regulou-se à volta de 6. Os ensaios conduziram a concentrados com teores entre 0,22 e 0,28 % de U_3O_8 com recuperações variando entre 85 e 78 %, respectivamente. Após ensaios laboratoriais, fez-se a confirmação dos resultados em instalação piloto, o que levou à conclusão de que a flutuação era possível em três dos quatro minérios ensaiados e se podia considerar como processo de concentração de minérios de origem primária.

John N. Butler e Robert J. Morris apresentam resultados dum estudo para a selecção de colectores orgânicos realizado sobre minerais de Urânio sintéticos, tais como a Autunite, a Torbernite e a Carnotite [12]. Neste caso, os resultados obtidos usando como colectores os «ditiocarbamatos» são de facto surpreendentes. Com alimentação de teores variando entre 0,10 e 0,50 % de U_3O_8, conseguiu-se obter concentrados com uma taxa de concentração de 15 : 1 e recuperações até 97 %. No entanto, os mesmos ensaios realizados com minérios naturais conduziram a resultados bastante inferiores.

A alimentação de cada ensaio era constituída por uma mistura de 5 g de Autunite sintética (de calibre inferior a 325 malhas) com 495 g duma areia siliciosa (de calibre inferior a 100 malhas). Esta mistura era moída durante 15 minutos num